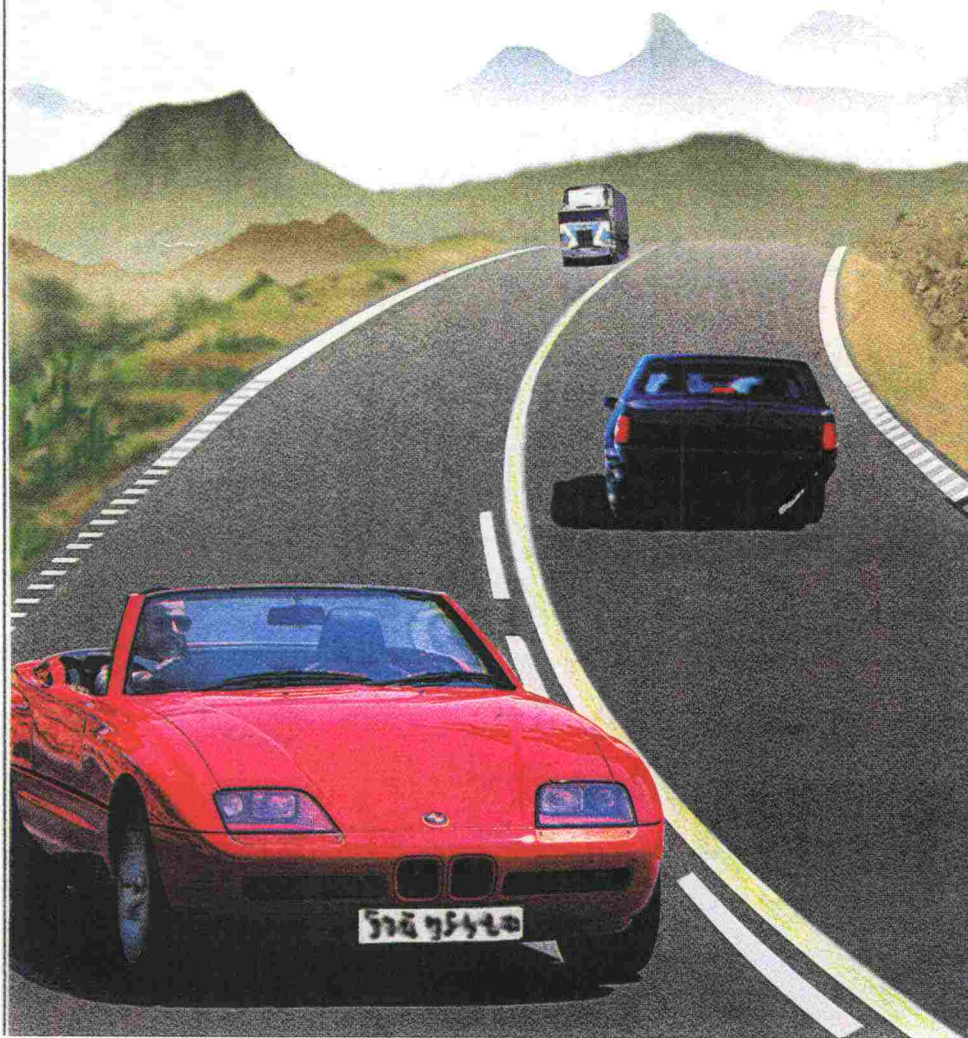


Tielaitos

TIEMERKINTÄ- TEKNIikka

Helsinki 1994

Tuotannon palvelukeskus



08 TIEL / Tie



Tielaitos
Kirjasto

Doknro: 950085
Nidenro: 950115

Johdanto

Tiementarkinnöillä on tärkeä merkitys tien liikennöitävyyteen ja liikenneturvallisuuteen. Tiementarkintäala on nopeassa kehityksessä tiementarkintämateriaalien ja niiden toiminnallisten ominaisuuksien, kone- ja laitekaluston, laatuvaatimusten ja -ohjauksen sekä työ- ja ympäristö-turvallisuuden kannalta.

Tiementarkinnöille on valmisteilla seuraavat eurooppalaiset eli EN-standardit:

1. Tiementarkintojen toiminnalliset vaatimukset ja testimenetelmät
2. Siroteltavat lasihelmet ja liukkauden esto aineet
3. Pysyvät ja väliaikaiset tiementarkintäteipit
4. Tiementarkintämateriaalit - Osa 1: Fysikaaliset ominaisuudet; Laboratoriotestimenetelmät
5. Tiementarkintämateriaalit - Osa 2: Tiekokeet ja testimenetelmät
6. Tiementarkintämateriaalit - Osa 3: Kiertoratatestit ja testimenetelmät
7. Tiementarkintämateriaalit - Osa 4: Tunnistaminen; Laboratoriotestimenetelmät
8. Sekoitettavat lasihelmet
9. Tiementarkintänastat
- 10 a. Laadun tarkastaminen - Osa 1: Näytteenotto
- 10 b. Laadun tarkastaminen - Osa 2: Työn suorittaminen
- 10 b. Laadun tarkastaminen - Osa 3: Toimivuuden määrittäminen tiellä

Standardit 1, 2, 8 ja 9 ovat valmiina prEN-standardina ja muut valmistunevat parin vuoden kuluessa. Suomen tiementarkintäalan ohjeistuksessa on otettu huomioon valmisteilla olevat standardit.

TERN-tieverkolle ollaan laatimassa yhteisiä fyysisiä ja toiminnallisia vaatimuksia vuonna 1995 käynnistyvässä COST 331 - projektissa (European Cooperation in the field of Scientist and Technical Research), jolloin on tarkoitus asettaa yhtenäiset vaatimukset koko Euroopan tiementarkinnöille.

Viime vuosina on tielaitoksessa panostettu jonkin verran tiementarkintäalan tietämyksen nostoon. Laitoksen johto on hyväksynyt tiementarkintätoimintapolitiikan ja tiementarkintojen laatuvaatimuksia on selkeytetty. Tiementarkintäalalta on puuttunut suomenkielinen tekninen julkaisu, jossa tiementarkintoja käsitellään syvällisemmin. Tällä "Tiementarkintätekniiikka"- julkaisulla on poistettu tätä puutetta. Julkaisun on laatinut Nils Rydberg Soms oy:stä Osmo Anttilan /Tpk ohjauksessa ja työ pohjautuu Suomen, Länsi-Euroopan ja USA:n keskeisten tiementarkintäalaa kehittävien henkilöiden tietämykseen. Toivon, että julkaisu auttaa Suomen tiementarkintäalan tietämyksen nostossa kansainväliselle tasolle.

Helsinki 27.12.1994

Osmo Anttila TIEL/Tpk

Liikenneturvallisuus.....	1
Yleistä.....	1
Toiminnallisuus.....	1
Liikenneturvallisuus ja tehokkuus.....	2
Ihanteellinen tiedon sisältö ja esitysolosuhteet.....	3
Tiedon sisältö ja toiminnallisuudet.....	3
Tiedon kerääminen ja sen havaitseminen.....	6
Näkeminen.....	7
Havaitseminen.....	14
Näkötehokkuus.....	14
Näkyvyys eri olosuhteissa ja valaisuolosuhteiden vaikutus merkintöihin.....	16
Liikenneväylien merkitseminen ja liikenneohjaus.....	20
Tiet.....	20
Kaiteiden ja muiden pystypintojen käyttö.....	24
Puhtaanapito.....	25
Merkintöjen suhde liikennemääriin ja liikenteen laatuun.....	25
Merkintöjen epäsuora ohjausvaikutus.....	25
Teknologinen kehitys.....	27
Nykyinen tilanne ja kehityksen suuntaviivat.....	27
Tilanne Suomessa.....	29
Suunnitteluvälineet ja -menetelmät.....	31
Kunnossapito.....	31
Markovin päätöksentekomalli kunnossapidossa.....	31
Uuden teknologian vaikutus johtamiseen ja toteutukseen.....	33
Taloudelliset vaikutukset.....	33
Materiaalit.....	34
Linjamerkintä.....	34
Maalit.....	34
Vesiohenteiset.....	34
Liuotinhenteiset.....	36
Kylmämassat.....	37
Yleistä.....	37
2-komponentti polyesteri.....	39
3-komponentti polyesteri.....	42
2-komponentti epoksi.....	45
2-komponentti akryyli.....	46
Kuumamassat.....	52
Kehityksestä.....	52
Koostumuksesta.....	54
Ominaisuuksista.....	55
Käsiteltävyydestä ja kemiallisista ominaisuuksista.....	58
Tekniikka, massa ja käyttö - keskinäisestä ohjausvaikutuksesta sekä vertailua.....	60
Levitystekniikoista.....	61
Käsinlevitys.....	61
Laahaintekniikka.....	62
Ekstruderitekniikka.....	63
Spray-tekniikka.....	66

Upotusmerkintä	68
Laminointi	69
Kalustosta	70
Padoista	70
Helmitankeista	72
Teipit ja muut esimuotoillut materiaalit	73
Pysyvät teipit	73
Väliaikaiset teipit	76
Kuumamassalevyt	76
Tiemerkintänastat	78
Kiinteät	84
Väliaikaiset	91
Kunnossapidosta	92
Laatuvaatimuksista	93
Heijastamateriaalit	94
Lasihelmet	94
Raaka-aineista	94
Valosta	95
Väristä	96
Kemiallisista ominaisuuksista	97
Fysikaalisista ominaisuuksista, kuten lämmöstä ja	
kestävyydestä	98
Valmistuksesta	102
Pintakäsittelystä	103
Ulkonäöstä	104
Seulonnasta ja sekoitteista	105
Helmen käytöstä	105
Helmen kiinnittymisestä sideaineeseen sekä lisää	
pinnoituksesta	108
Työturvallisuudesta	112
Joistakin valmistajista	113
Ajatuksia helmistä	114
Muut	115
Merkinnät eri pinnoissa	116
Eri pintamateriaalit	116
Vanhat merkinnät	116
Asfaltit	117
AB-päällysteistä	117
Emulsiosorasta	117
Sirotepintauksesta	118
Öljysora	118
Sorapintaus	118
Mäntyöljypiestä	118
Ongelmista yleensä	118
Betoni	119
Pinnan kunto	120
Saasteet ja työturvallisuus	122
Kalusto	122
Melusaasteesta	123

Päästöistä	125
Muista riskeistä	125
Työhygieniasta	126
Materiaaleista	127
Terveyshaitoista	127
Kemikaalilainsäädännöstä	128
Liikenteestä	129
Levitystekniikka	133
Esimerkintäjärjestelmät	133
Pinnan esivalmistelu ja merkintöjen poistamismenetelmät	134
Esivalmistelu	135
Kuumamassat	135
Yleensä, kosteusongelmat ja pohjustaminen	135
Puhtaus	135
Kosteus	136
Pohjustus	136
Alhainen levityslämpötila	136
Teipit	137
Upotusmerkintä	137
Poistamismenetelmät	140
Paineilmapuhallus	141
Polttaminen	141
Kemikaalit	142
Jyrsintä	143
Hiekkapuhallus	145
Painevesiruisutus	146
Harjaus	146
Sinkoaminen	147
Nastat	147
Väliaikaiset nastat	148
Pysyvät pintanastat	148
Upotettavat nastat	148
Profiloidut merkinnät	148
Valaisuominaisuudet	155
Valon lähteet	155
Valolähteen merkitys tiemerkinntöjen kannalta	156
Auton ajovalot	156
Hehku- ja halogeenivalot	156
Kaasupurkausvalot	157
UV-valot	159
Ajovalojen ja tiemerkinntöjen keskinäinen tulevaisuus	161
Katu- ja tievalot	161
Valon fysiikasta	162
Mittaaminen	163
Määritelmät	163
Analysointimenetelmät	164
Vaihtelu-menetelmä (Range)	164
Keskiarvo ja vaihtelu -menetelmä (Average & Range)	165
Kenttämittaukset	167

Laadunvalvonta.....	167
Suunnittelun ja toteutuksen väline.....	170
Laboratoriomittaukset.....	170
Laadunvalvonta.....	170
Hyväksymiskäytännöt.....	173
Valaisuoimaisuudet.....	174
Valolähteet.....	174
Valoanturit.....	174
Laitteistot.....	174
Eri olosuhteiden simulointi.....	175
Arvostusmallit.....	176
Vaurioiden arviointi.....	176
Hyöty / laatusuhteet.....	177
Eri materiaalien valitseminen.....	181
Tiemerikinnän käyttövarmuuden parantaminen.....	182
Tiemerikinnän tai toiminnallisuuskomponentin	
luotettavuus.....	183
Järjestelmän luotettavuus.....	186
Luotettavuustekniikan soveltaminen.....	187
Liite 1.....	190
Suunnitteluvälineet ja -menetelmät.....	190
Ympäristömuutoksen vaikutukset.....	190
Muutosten kohdistuminen.....	192
Asiakkuus.....	193
Hinta.....	194
Jatkuva kehittäminen.....	195
Liite 2.....	196
Uuden teknologian vaikutus johtamiseen ja toteutukseen.....	196
Johtaminen.....	196
Yksilö muutoksessa.....	197
Laadun johtaminen - TQM.....	198
Laatu.....	203
Laatutekniikoiden käyttö tiemerikinnöissä.....	203
Teollinen koesuunnittelu prosessien kehittämisessä.....	206
Liite 3.....	213
Osia työministeriön päätöksestä, joka koskee	
käyttöturvallisuustiedotetta.....	213
Käyttöturvallisuustiedotteen otsikot.....	213
Osia työministeriön päätöksestä, joka koskee tietojen	
toimittamista.....	216
Osia tietojen toimittamisohjeista.....	216
Liite 4.....	222
Perussuureet.....	222
Valon heijastuminen ja läpäisy.....	223
Paluuheijastuvuus.....	223
Kontrastit.....	224
Luminanssi.....	225
Värioppi.....	226
Lähdeluettelo.....	230

Liikenneturvallisuus

Kuljettaja tarvitsee suuren määrän tietoa selviytyäkseen tehtävästään ajoneuvon ajajana. Tietoa hän saa kahdella tavalla: keräämällä itse aktiivisesti ja saamalla sitä aistinvaraisesti.

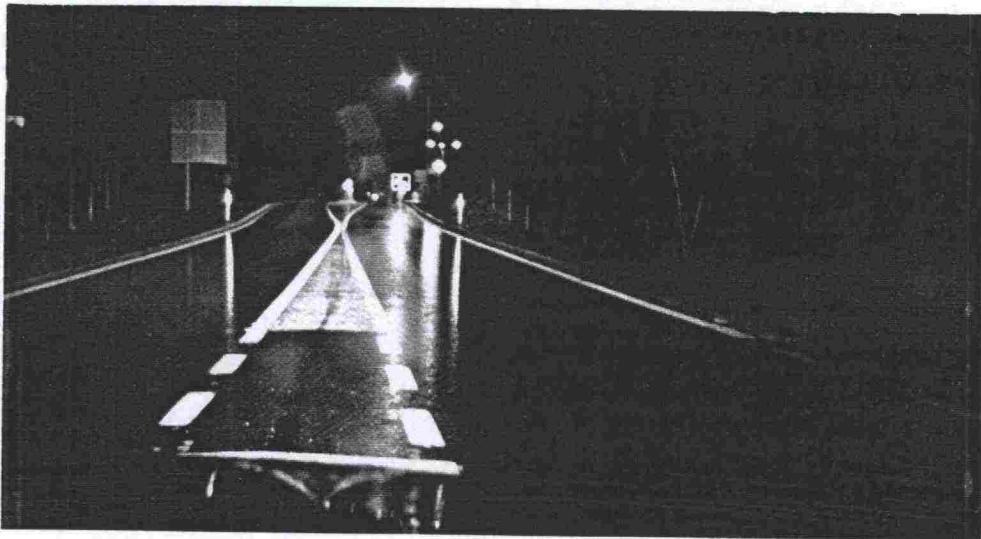
Yleistä

Tiementunnistuksella on suuri merkitys liikenneturvallisuuteen. Tiementunnistukset sijaitsevat tiessä siinä kohdassa, johon ajoneuvon kuljettajan katse sijoittuu, kun silmä on päivällä lepotilassa. Huonoissa näkemisolosuhteissa kunnollisten tiementunnistusten merkitys liikenneturvallisuutta edistävänä tekijänä kasvaa. Tiementunnistukset lähettävät jatkuvaa viestiä. Niistä ajoneuvon kuljettaja saa jatkuvasti tietoa miten ajoneuvo sijaitsee tiehen nähden ja mihin suuntaan se kulkee. Tiementunnistusten tulee olla myös tehokkaat. Tehokkuus tarkoittaa, että ne ovat voimakkaasti esillä - visuaalisesti vahvoja ja leveitä - ja että ne mahdollisesti kuuluvat.

Tiementunnistuksia käytetään välittämään tietoa mm. kulloinkin voimassaolevista liikennesäännöistä, pysyvistä tai väliaikaisista vaaroista ja tien geometrisestä muodosta. Tiementunnistus ohjaa visuaalisesti ja toimii viitetietona valittaessa ajolinjausta, kaistaa ja sen ajouraa.

Toiminnallisuus

Tiementunnistusten tulee täyttää näkyvyysvaatimukset sekä päivällä että pimeällä ajoneuvon valossa. Edellämainitun lisäksi, tulee niiden tarjota riittävä kitka.



Sateesta märkä Aquaflex® -merkintä.

Jotta merkintä toimisi pimeällä märässä, tulee ne tehdä pystysuunnassa voimakkaasti profiloituiksi. Tielle kertyneen veden tulee kuitenkin päästä valumaan vapaasti pois merkinnän päältä niin, että osa merkinnästä on aina vesikalvon yläpuolella ja merkintä voi näin näkyä ja heijastaa riittävän paljon takaisin siihen osuvasta valosta. Haluttuun lopputulokseen päästään tekemällä merkinnästä vähintään 4 mm paksua kampakuviota eli Kamflexiä tai ruiskuttamalla merkintämateriaalia karkealle pinnalle tai ruiskuttamalla materiaalin ohessa tien pinnan karkeutta voimakkaasti lisäävää materiaalia. Pääasia on, että karkeutta antava

materiaali peittyy täysin merkintämateriaalin alle. Näiden kolmen menetelmän tarkoituksena on lisätä heijastavan pinta-alan määrää.



Uutta ruotsalaista ajattelutapaa esittävä risteysalueen visualisointitapa. Tarkoituksena on eriarvoistaa risteys muuhun tieosuuteen nähden tiementekniikoiden avulla.

Toiminnallisuus laskee voimakkaasti merkinnän likaantuessa, kastuessa ja kuluessa.

Liikenneturvallisuus ja tehokkuus

Eurooppalaista ajoneuvoliikennettä pyritään edistämään DRIVE V1024 -projektin avulla - (Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe). Projektin tavoitteena on parantaa liikenneturvallisuutta, saada tiekuljetukset tehokkaaksi ja keventää ympäristörasitusta. Kyseisen projektin puitteissa on syntynyt uutta tietoa kuljettajalle tulevasta tiedosta ja sitä on projektissa tutkittu.

Liikenne on kokonaisuudessaan turvallisuuden ja tehokkuuden kompromissi, joka syntyy useista osatekijöistä. Tämä asettaa suuret vaatimukset kuljettajan apuna olevalle päätöksentekojärjestelmälle, joista tiementekniikka on osa laajaa kokonaisuutta. Tiedon, jota kuljettaja kerää ja ottaa alitajuntaisesti vastaan, tulee olla sisällöltään selkeää, yksiselitteistä ja vastaanotettavaa ja esitysolosuhteiden kuljettajan kannalta ihanteelliset.

Ruotsissa, Englannissa, Saksassa, Ranskassa ja USA:ssa tutkimukset osoittavat, että tiementekniikalla voidaan vähentää liikenneonnettomuuksia 3 ... 60%.

Merkintöjen tehokkuutta voidaan tarkastella niiden kansantaloudelle aiheuttamien säästöjen avulla. Tiementekniikkaan pistetty sijoitus tuo takaisin 1:60 toteutumattomien onnettomuuksien tuomina säästöinä.

On pystytty osoittamaan, että kun 10 cm leveä merkintä on korvattu 30 cm leveällä merkinnällä, pimeällä puolivaloilla näkemäetäisyys on kasvanut 24%:lla 50

metristä yli 60 metriin. Vastaavasti, kun 10cm:n reunaviiva on korvattu 20 cm:n reunaviivalla, onnettomuuksien määrä on laskenut.

Ihanteellinen tiedon sisältö ja esitysolosuhteet

Ajosuoritusta voidaan analysoida erilaisista näkökulmista ja kussakin voidaan painottaa eri asioita tarkoitushakuisesti. Tässä kiinnitetään huomiota kuljettajalle tulevan tiedon käsittelymekanismiin.

Ajosuoritusta voidaan kuvata tieto-päätös-toiminta -prosessina, joka on riippuvainen virheistä vapaan tiedon vastaanotosta ja käytöstä. Tämä merkitsee, että ajajalle ei riitä, että kaikki tarvittava tieto on käytettävissä, vaan että se on aina tarvittaessa käsillä. Siksi tarvittavan tiedon tulee olla saatavilla koko sen ajan, jona kuljettaja käsittelee tietoa päätöksen tekoa ja toimintaa varten. Liikennetilanteesta, henkisestä vireydestä ja stressistä riippuu kuinka paljon aikaa hän kulloinkin prosessiin tarvitsee.

Tietoa lähettävä kohde tuottaa viestejä, joiden merkitys tulee mieltää turvallisuuteen ja tehokkuuteen yhdistettynä ajomukavuuteen ja perillepääsyyn.

Tiedon sisältö ja toiminnallisuudet

Tiedot, joiden saantiin kuljettajalla tulee olla aina mahdollisuus, voidaan esittää seuraavasti:

- 1 Perustieto: tukee ajotehtävää ja prosessia, jotka taasen ovat suoraan yhteydessä ajoneuvon valvontaan ja käsittelyyn.
2. Sääntötieto: ohjaa yksittäistä ajajaa ja sitä kautta liikennettä. Tämä tieto välittyy pääasiallisesti liikennemerkkeistä, -valoista ja tiemerkinnoista.
3. Lisätieto: palvelee tai tukee ajajaa. Tiedon tuottaa joko viranomaiset tai muut tahot. Se tukee matkan suunnittelua, suunnistamista, reitin valintaa, taloudellista ajoa ja ajoneuvon huoltoa.
4. Ryhmätieto: liittyy matkanteon tarkoitukseen ja palvelee tiettyjen käyttäjäryhmien tarkoituksia (taksit, hälytysajoneuvot, maantiekuljetus, vapaa-aika, jne.)

Tiedon tyyppi	Perustieto	Sääntötieto	Lisätieto	Ryhmätieto
Tehtävä (OECD)	Tie Liikenne Nopeus Käsittely	Sääntöjen noudattaminen	Strategia - suunnittelu - päätöksenteko Suunnistus	Yleiset tai erityistarpeet
Tiedon käyttö	Ajoneuvon hallinta liikenteessä	Lain- ja säännön-mukainen ajaminen	Strategian mukainen matkan toteutus	Tarkoituksen mukainen soveltaminen

Nämä neljä tiedon luokkaa voidaan jakaa kuuteen näkökulmaan seuraavasti:

	Perustieto	Sääntötieto	Lisätieto	Palvelut
Ajoneuvo	•	•	•	•
Kuljettaja/ Matka	(•)	•	•	•
Tie	•	•	•	•
Liikenne	•	•	•	
Ympäristö/ nfrastrukt			•	•
Kulttuuri				•

•-merkillä on osoitettu käyttökelpoinen yhdistelmä.

Kaaviossa esitetyistä kohdista merkittävimmiksi nousevat perus- ja sääntötieto, joita tulee tarkastella seitsemän tason sijasta vain kolmelta näkökulmalta / tasolta: tien, liikenteen ja ajoneuvon (Rumar, K. 1985).

1. Tietaso: käsittää tiehen liittyviä olosuhteita, joita fyysinen ympäristö viestittää. Näistä esimerkkinä ovat tien pinnan olosuhteet, sisä- tai ulkokaarre, mutka, mäki tai suora, heikko näkyvyys sumun tai sateen ansiosta, esteet, jne.
2. Liikennetaso: välittää tietoa muista tiellä liikkujista, joihin tulee kiinnittää huomiota: sijainti ajoväylällä, niiden nopeus ja liikkeen suunta, onko kyseessä jalankulkija vai polkupyörä, jne.
3. Ajoneuvotaso: tarkoittaa ensisijaisen tiedon välittymistä omasta ajoneuvosta, kuten: nopeus, sen hetkinen renkaiden pito-ominaisuus ja jarrutettaessa jarrujen toimivuus.

Ajorutiinit, joissa eri tiedon tasoja käytetään, voidaan jaotella seuraavasti:

1. Tie: sijoittuminen ajoradalla ja suunnan valinta,
2. Liikenne: olla muiden tienkäyttäjien kanssa yhteisvaikutuksessa olemalla liikkeessä ja välttää yhteentörmäyksiä,
3. Ajonopeus: sovittamalla ajonopeus kulloiseen tilanteeseen sopivaksi
4. Käsittely: ajoneuvon hallitseminen

Sääntötieto välittää viranomaisten jakamaa tietoa mm. kielloista, varoituksista, määräyksistä ja ohjauksesta. Sillä säädellään ja ohjataan liikennettä. Tarkoituksena on liikenteen koordinointi ja saada jokainen ajaja toimimaan turvallisuushakuisesti ja tehokkaasti. Nykyään tieto välittyy pääsääntöisesti liikennemerkeistä ja -valoista sekä tiemerkinnöistä.

Sääntötiedon tulee perustiedon lailla olla selkeää ja kerralla oikein ymmärrettävää. Sääntötieto voi saada perustiedon aseman. Myös vallitsevat olosuhteet vaikuttavat suoraan mille tasolle tieto voidaan luokitella. Tieto, joka voidaan selvästi katsoa kuuluvaksi sääntötietoihin päiväsaikaan muuttuu perustiedoksi pimeällä tai huonoissa näkyvyysolosuhteissa. Kokemattomalle tai iäkkäälle ajajalle olosuhteista riippumatta sääntötieto on perustietoa.

Usein on käyty vilkasta keskustelua siitä, että mihin tietoluokitukseen tiemerkinnät kuuluvat. Ne mielletään helposti perustietoon. Mutta se tapa, jolla teiden ylläpitäjät ovat tiemerkintöjä käyttäneet ja miten tien käyttäjä niistä tietoa

keräävät, asettavat ne väkisinkin sääntötietoihin. Luonteeltaan tiemerkinnät ovat kuitenkin sääntötietojen lisäksi perus- ja lisätietoa. Tienkäyttäjä kokee asian myös näin. Vaikka ajoneuvon kuljettajan on erittäin vaikea mieltää ajosuoritustaan pieninä osina ja sitä kautta määritellä tarpeensa, vahvistavat eri kokeilut tiemerkintöjen laajan toimivuuden toteutuneiden käyttäytymisien kautta.

Liikennemerkkien ja tiemerkintöjen jaottelulle on historialliset ja käytännöllisyyteen perustuvat syyt. Edellisen lisäksi niiden käyttötavat on maailmanlaajuiset ja poikkeavat loppujen lopuksi hyvin vähän toisistaan. Luokitteluun ei näillä näkymin ole suunnitteilla suuriakaan muutoksia.

1968 Wienin sopimuksen mukaan liikennemerkkit jaetaan seuraavasti:

Vaara	Väistämis ja etuoikeus
Kielto	Pakkoa osoittava
Ilmoitus	Palvelut
Suunta	Lisät / täydentävät
Tausta / reunapaalut	Tiemerkinnät
Liikennevalot ja liikennepoliisin merkinannot	

Kun tarkastellaan tiemerkintöjen olemusta liikenneturvallisuuden, sujuvuuden, perillepääsyn, merkityksellisyyden, rikkomusten ja sanktioiden kannalta, nousee niiden merkitys selvästi jo perinteisesti käytettynä toiseksi tärkeimmäksi ryhmäksi kieltomerkkien jälkeen.

T i e m e r k i n n ä t										
Turvallisuus				Liikennevuo		Suun- nistus	Mer- kitys	Rikko- musten määrä	Sanktiot	
Välitön vaara useam- mille	Vaara useam- mille	Välitön vaara ajoneu- volle	Vaara ajoneu- volle	Välitön vaikutus	Voi joh- taa häi- riöön				Pakol- linen rangais- tus	Rangais- tus tai varoitus
Kaistamer- kinnät	2				2					
Varoitus- viivat	3				2					
Sulku- viivat	3				2			2	3	
Yhdistetyt merkinnät	3				2					
Keskiviivat	2				2					
Ohjaus- merkinnät					2	2				
Reuna- viivat	2				2			1		1
Sulkualue	3							1	3	
Pysäytys- viivat	3				2			2		3
Väistötila	3				2			2		3
Suojatiet	3									
Kevyen liikenteen risteys	2									
Pysäköinti										

3 = erittäin merkittävä 2 = merkittävä 1 = vähemmän merkittävä

Hyvällä syyllä voidaan otaksua, että tiemerkintöihin on piiloutuneena suuriakin mahdollisuuksia. Niitä ei vain olla osattu nähdä, koska tiemerkintöjä ei osata arvostaa.

Ensiksi yleisesti viranomaisten taholta eri maissa tiemerkintöjen toiminnallisuuteen ei olla panostettu erityisen paljoa ennenkuin vasta 1985 lähtien.

Ja silti sen osuus jäänyt suhteessa pieneksi muuhun liikenneturvallisuuteen sijoitettujen tutkimusvaroihin nähden. Jos kehitystä on ollut, on se tapahtunut enemmän teknisellä puolella: tuotanto ja tuotteet sekä tuotteisiin suoraan sidotut laitteistot. Kehitystä on rahoittaneet yritykset, joiden intresseissä ei ole ollut ensisijaisesti parantaa liikenneturvallisuutta. Tämä on johtunut osittain tuotteiden ja palveluiden ostajista.

Ympäristövaatimusten aiheuttamaa kehitystä ei voida laskea tähän asiayhteyteen kuuluvaksi, sillä siinä ei ole kyse toiminnallisuudesta, käyttötarkoituksesta ja -tavasta.

Toiseksi sekä toimittajan että tilaajan puolelta menetelmäkehitys on jäänyt vaille huomiota. Tuotekehityskään ei ole ottanut huomioon muuta kuin levitysmenetelmiä, vaikka 2- ja 3-komponenttituotteissa on sitoutuneena korkeaa teknologiaa.

Kolmanneksi missään yliopistossa ei ole tiemerkintöihin liittyvää professuuria eikä aiheesta olla väitelty. Ruotsissa ollaan tässä asiassa pitkällä, mutta tuloksia ei ole vielä toistaiseksi näkyvissä. Ilmeisesti Lundin yliopisto tulee ottamaan tiemerkinnät laajemmin opetus- ja tutkimusohjelmaan mukaan. Silloin se olisi uraa uurtavaa koko maailmassa. Liikennepsykologia on tutkinut enemmän tiemerkintöjä liikennekäyttäytymisen kannalta ja sillä puolella on julkaistu väitöskirjoja, mutta tutkimukset eivät ole olleet tiemerkintälähtöisiä, vaan niissä tiemerkinnät ovat olleet ns. annettu tekijä. Jossakin tutkimuslaitoksissa ollaan kylläkin erikoistuttu tiemerkintöihin liittyvään ongelmatiikkaan, mutta niiden merkitys alaa ja merkintöjä yleisesti kohentavana tekijänä on täysin merkityksetön. Laitosten kansallinen merkitys on mainittava, mutta ei ratkaiseva.

Neljänneksi kansallisissa tielaitoksissa tiemerkintöjen operatiivinen vastuu ja päätöksenteko ei ole optimaalista rajoituksen ja alan merkityksen kannalta. Työtä helpottavia suunnittelutyökaluja ja -menetelmiä ei käytännössä ole. Myös johtamismenetelmät ovat kehittymättömiä. Tämä on ristiriidassa tiemerkintöjen kasvaneiden toimivuusvaatimusten kanssa. Tiemerkintöjen toimivuusvaatimukset ovat lähtöisin korkean teknologian hyödyntämisperiaatteista ja edellyttävät täten samaa tasoa johtamis-, suunnittelu- ja työskentelymenetelmiltä

Viidenneksi älykäs tieajoneuvoyhteys, joita IVHS (Intelligent Vehicle Highway System) ja DIS-järjestelmä (Driver Information System) edustavat ja älyautokehitys ovat jättäneet tiemerkinnät tyystin vaille huomiota, vaikka kummassakin tapauksessa on havaittu kuljettajalle tulevan tiedon muodostusketjussa monia ongelmia. Nykyiset kokeilussa olevat järjestelmät ja menetelmät edellyttävät täysin uuden, laajan ja kalliin infrastruktuurin rakentamista sekä teihin, sen varrelle että autoihin. Tiemerkinnöillä saattaisi olla kummassakin ratkaisussa aktiivinen ja edullinen rooli. Ruotsissa on kehitetty ja testattu analogia ja laitteisto, joka soveltuisi erittäin hyvin tähän yhteyteen. Sen järjestelmän tarkoituksena on tunnistaa reuna- ja keskiviivan aiheeton ylitys ja antaa siitä hälytys. Järjestelmä on riittävän luotettava otettavaksi käyttöön.

Tiedon kerääminen ja sen havaitseminen

Tiedon käsittely on hyvin monimutkainen prosessi, jota ei vielä kunnolla tunneta. Se voidaan ymmärtää muodostuvaksi seuraavista peräkkäisistä osaprosesseista:

kerääminen, havaitseminen, näkeminen/kuuleminen, ymmärtäminen, käsitteleminen/päätöksen tekeminen ja toimintakäskyn antaminen. Viestin laadusta riippuen tiedon käsittely tapahtuu sille ominaisella tavalla.

Perustieto tietasolla tapahtuu mm. ruumiin asennon ja siinä tapahtuvien muutosten kautta; kaarre aiheuttaa keskipakovoimaa ja tienreunan ylitys tuntuu värinä ja sen kuulee. Voimakkaasti profiloitu tiemerkintä ja/tai tiemerkintänasta aiheuttaa värinää ja voimakasta ääntä.

Värinän ja äänen tunnistusprosessi on ilmeisesti paljon yksinkertaisempi kuin näkemisprosessi. Näkö ja kuulo edustavat korkeampaa tiedon keruun tasoa, kuin esim. ruumiin asentoon perustuva tunteminen. Huolimatta näön ja kuulon korkeammasta tasosta, kumpaakin voidaan manipuloida - etenkin näköä. Kerätty tieto taltioituu muistiin, josta se on saatavilla tarvittaessa. Ihmisen liikennekäyttäytyminen perustuu osin opittuun malliin ja tätä tietoa voidaan käyttää hyväksi.

Ihmisen kyky käsitellä tietoa on hyvin rajoittunut. Rajoitteita asettaa tiedon käsittelymekanismi. Joko tieto käsitellään peräkkäisperiaatteella: keräily-havainto-toiminta tai rinnakkaisperiaatteella. Viimeksimainitussa tapauksessa keräily tapahtuu kahdella lailla esim. perustuen näköön ja kuuloon. Kuulo- ja näköaistiin perustuvan tiedon käsittely tapahtuu yhtäaikaaisesti aivojen eri lohkoissa, vaikka kummankin tarkoituksena on saada aikaiseksi yksi yhteinen toiminta: äänekkään reunaviivan ylityksestä johtuva ajolinjan korjaus.

Rajoittuneisuudesta ja hitaudesta johtuen tiedon tulee olla koko ajan saatavilla oikeaan aikaan. Tieto pitää myös toistaa, jotta se menisi perille. Ihmisen mekanismi tuntee myös oman rajallisuutensa. Siksi ihminen pyrkii koko ajan suodattamaan tietoa, vaikka sen merkitys on olosuhteista riippuvainen. Tiedon asettaminen tärkeysjärjestykseen on riippuvainen missä ja miten tieto esitetään. Kun tiedetään miten silmä toimii havainnointiprosessissa ja miten havainnointiprosessi käyttää silmää, voi liikennesuunnittelu käyttää tätä tietoa tehokkaasti hyväkseen vähentämättä ihmisen suorituskapasiteettia. Mitä enemmän voidaan hyödyntää alitajuisia toimintoja, sitä tehokkaammaksi kuljettajan tiedon keruu ja käsittely tulee ilman, että käsittelyprosessiin sitoutuu energiaa. Tiemerkinnät - varsinkin reunaviivat - ovat niitä havainnointiin liittyviä peruselementtejä, joita ihminen käyttää jatkuvassa alitajuisessa tiedonkeruussa. Tiemerkinnät ovat koko ajan saatavilla ja ne toimivat reaaliajassa. Niitä ei tarvitse toistaa eikä niihin tarvitse kiinnittää katsetta.

Näkeminen

Näkemiseen tarvitaan silmä, näköhermo ja osa aivoista. Näkökentässä olevasta kohteesta tuleva valo taittuu silmän optisissa osissa ja muodostaa käänteisen kuvan silmän verkkokalvolle. Valo- ja värierot muuttuvat impulsseiksi, jotka näköhermo kuljettaa aivojen näkökeskukseen. Siellä ne tulkitaan ja sen perusteella syntyy päätös toiminnasta. Toimintaa on myös toimimattomuus. 70 ... 80% kaikesta aistitusta informaatiosta ihminen saa silmiensä kautta.

Ihmiselle näkyvä tai näkyväksi muuttuva valo on näkemisen elinehto.

Näköympäristö muodostuu valosta ja ympäröivistä pinnoista. Muun muassa riittämätön valo vaikeuttaa näkemistä. Jotta tieliikenteessä saavutettaisiin

mahdollisimman ihanteelliset olosuhteet, on silmän toiminta ja näkemiseen vaikuttavat tekijät tunnettava. Seuraavassa tullaan perustelemaan peremmat tiemerikinnät näkemisen kannalta. Asiaa voi myös käsitellä: miksi tiemerikinnät eivät aina näy, vaikka ne ovatkin tiessä?

Ikääntyminen heikentää näkökykyä monella tavalla ja vaikuttaa valontarpeeseen. Silmäsairaudet ovat myös merkittävä haittatekijä.

Näkeminen on erittäin monimutkainen prosessi, josta ei ihan tarkkaan tiedetä, mutta seuraavat osatekijät on tunnistettavissa:

1. Keskeinen näöntarkkuus
2. Näkökenttä
3. Värinäkö
4. Kontrastiherkkyys ja kontrastinäkö
5. Sopeutuminen
6. Mukautumien
7. Yhteisnäkö ja syvyysnäkö
8. Silmien liikkeet
9. Johtava silmä

Näkemiseen vaikuttavat myös yksilölliset silmän taittovirheet.

Näöntarkkuus kuvaa sen, miten silmä erottaa erillisinä toisiaan lähellä olevat yksityiskohdat. Näöntarkkuus on suurimmillaan tarkan näön keskuksessa. Katsomistilanteessa katse pyrkii keskittymään siten, että katsottava esine sijoittuu näkökentän keskelle. Siinä näöntarkkuus on parhaimmillaan. Siitä ulospäin mentäessä tarkkuus heikkenee niin, että 10° päässä tarkkuus on laskenut huomattavasti. Silmän laitaosilla pystytään erottamaan liike ja hyvin suuria esineitä.

Tarkkuus riippuu oleellisesti ympäristön luminanssitasosta. Luminanssia on käsitelty kohdassa *Valaisuominaisuudet / Luminanssi*. Alhaisilla sopeutumistasoilla pienikin luminanssitason kohennus parantaa näöntarkkuutta huomattavasti. Korkeammilla tasoilla kohennuksen vaikutus on pienempi. Silmäsairaudet ovat oma lukunsa ja valon tarve näöntarkkuuteen vaikuttavana tekijänä poikkeaa terveeseen silmään nähden. Mitä korkeampi valaistustaso, sitä paremmin sairaskin silmä näkee. Toki on sairauksia, joissa silmä on varsin herkkä valaistustasolle. Silloin luminanssitason vaihtelulle jää kapea liikkuma-ala.

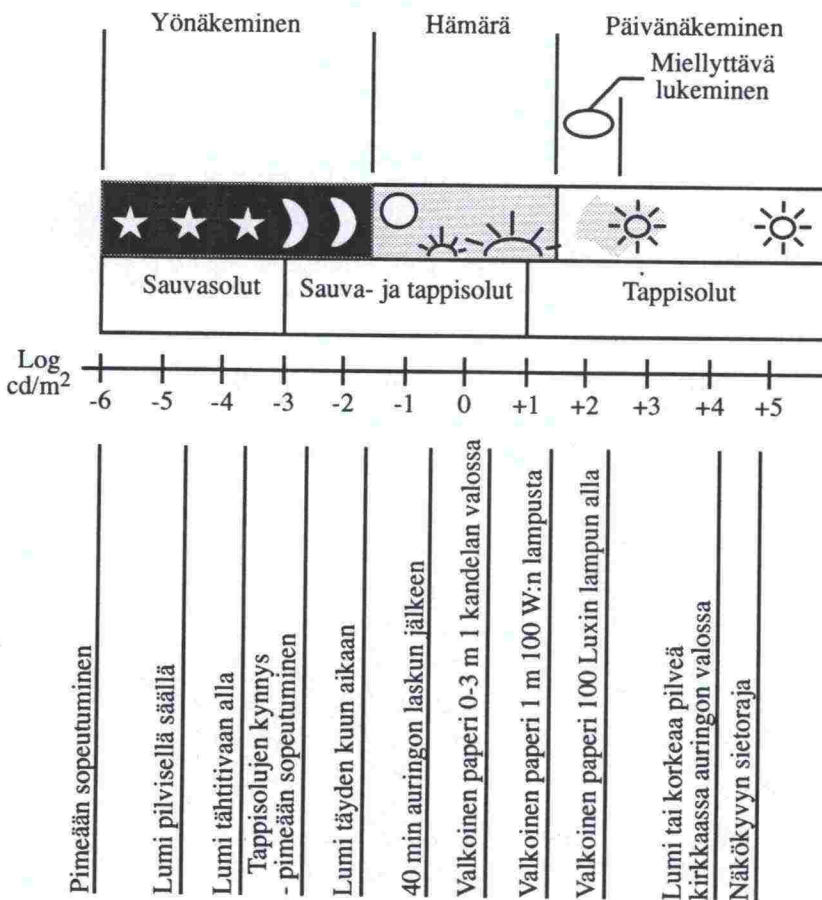
Luminanssin jakautuminen näkökentässä vaikuttaa myös näkemisen tarkkuuteen. Kun luminanssi näköalueen keskellä ja reunoilla on sama, on tarkkuus silloin parhaimmillaan. Kun ympäristö on liian tumma, tarkkuus pienentyy sopeutumisluminanssin ylittäessä tietyn maksimi-arvon. Tilannetta voidaan korjata tiettyyn rajaan asti lisäämällä kohteen luminanssia.

Näöntarkkuus on myös riippuvainen valon väristä ja se taas riippuu siitä, että silmä on optisesti heikko ja se aiheuttaa väripoikkeamaa. Koska näöntarkkuus kuvaa vain hyvin pienen verkkokalvoalueen toimintaa, soveltuu näöntarkkuuden mittaaminen vain silmien taittovirheiden tutkimiseen. Tarkkuuden heikkeneminen voi johtua

silmäpohjan rappeutumisesta, samentumista sarveiskalvossa, mykiössä tai lasiaisessa tai häiriöt näköhermojen ja/tai aivojen toiminnassa.

Näkökenttä muodostaa alueen, jonka laajuus vaakatasossa on kummallakin silmällä katsottaessa 180°. Vaakatason alapuolelle näkökenttä ulottuu 70 ... 80° ja yläpuolelle 50 ... 60°. Kumminkin silmät näkevät yhdessä laajemman alueen kuin yksi silmä. Värinäkemisen alue on hieman kapeampi.

Näkökentän eri osissa näöntarkkuus on erilainen. Kuvat ovat tarkkoja näkökentän keskialueella, jossa sijaitsee ns. keltatäplä. Sen keskialueella syntyy tarkimmat kuvat. Tarkan kuvan silmä muodostaa kohdistamalla sen kohteen useisiin pisteisiin. Liikkeet ovat nopeat ja lyhyet eikä ihminen pysty niitä erottamaan. Näkökentän laitaosilla kuva on epäselvä ja alue toimiikin hahmojen ja liikkeen havainnointiin. Tämä ominaisuus on oleellinen liikkumisessa liikenteessä ja ominaisuutta kutsutaan liikkumisnäköksi.



Kuva näkösolujen sopeutumisesta eri valaistusolosuhteisiin.

Jokainen on havainnut, että näkeminen hämärässä tai pimeällä on erilaista verrattuna näkemiseen päivällä. Tämä johtuu siitä, että valoa aistivilla verkkokalvolla olevilla sauva- ja tappisolulla on kummallakin oma erikoistehtävänsä. Kumminkin solut sisältävät valoa absorboivaa näköpigmenttiä. Sauvasolut toimivat hämärässä ja tappisolut valoisassa. Solujen toiminnallinen ero johtuu näköpigmentin erilaisesta koostumuksesta. Verkkokalvolla on 130 miljoonaa valoa aistivaa solua, joista 7 miljoonaa on tappisoluja. Loput 123 miljoonaa sauvasolua ovat hämärää varten. Tappisolut vastaavat väriaistimuksesta jakaantuen absorptioherkkyyden mukaan eri

allonpituuksille. Karkeasti kuvattuna tappisolujen määrä on silmän keskellä suurin ja vastaavasti sauvasolujen määrä vähäisin. Reunoille mentäessä suhde vaihtuu päinvastaiseksi. Siksi tähtitaivasta tarkkailtaessa silmän reunat näyttävät pienet heikosti hohtavat tähdet, mutta kun katseen suuntaa kohteeseen, mitään ei näy.

Edellisessä kuvassa on havainnollistettu logaritmisella asteikolla silmän valaistusolosuhteiden suhteellista muutosvaikutusta näkösolujen toimintaan. Sitä ei tiedetä miten silmä reagoi valoilla ajamiseen muun liikenteen joukossa, mutta epäillään, että silmä on kaiketi hämärä- ja päivänäkemisen rajamailla. Vaikka asia on aiheuttanut vilkasta keskustelua alan tutkijoiden joukossa, ei lopullista vastausta saatane vielä pitkään aikaan. Kenties CIE:n yövärinäkemistä tutkiva työryhmä avartanee tietämystä.

Valitettavasti tarkka näkö ei ole mahdollista hämärässä, jossa näkeminen tapahtuu vain sauvasolujen avulla. Tarkan näkemisen keskus on silmän keskellä keltatäplässä ja siellä on tappisoluja.

Päivänäkemiseen tarkoitetut tappisolut vastaavat värien näkemisestä. Ne jakaantuvat sini-viher ja punaherkkiin aallon pituuksiin. Valkoisen värin aistimus syntyy silloin, kun kaikki tappisolut ärsyyntyvät oikeassa suhteessa. Voimakkaassa valaistuksessa näkemiseen tarvitaan vain tappisoluja. Silmä on herkin kellanvihreälle valolle. Siitä jokainen voi tehdä henkilökohtaisia havaintoja katsomalla vastaantulevia autoja, joissa on Philipsin Gold -valot. Ajovalojen linssivirheestä johtuen valoissa häilyy turkoosi ja sen havaitsee erittäin herkästi. Joitakin se jopa häiritsee.

Siirryttäessä heikompaan valaistukseen silmän herkkyys siirtyy siniseen päin ja herkkyys punaiselle laskee. Aivan heikossa valossa silmä käyttää näkemiseen vain sauvasoluja ja värien aistimusta ei synny laisinkaan. Väriherkkyys on yksilöllistä puuttumatta kuitenkin värisokeuteen.

Näkeminen perustuu luminanssi- ja värierojen havaitsemiseen. Puhutaan luminanssikontrastista kohteiden näkyvyyttä säätelevänä tekijänä. Myös värikontrastilla on suuri osuus, mutta sen vaikutus on ensinmainittuun nähden vähäinen. Kontrasti on suhteellinen mittari. Se kertoo kuinka paljon jonkin kohteen osien luminanssit poikkeavat toisistaan. Luminanssia ei saa sekoittaa kirkkauteen. Hahmojen, muotojen ja ykityiskohtien erottamien perustuu kontrastien havaitsemiseen tietyn edellytyksin.

Silmän kontrastiherkkyydellä tarkoitetaan pienimmän havaittavissa olevan suhteellisen luminanssieron käänteisarvoa. Silmä ei pysty kunnolla arvioimaan tasaisesti valaistun pinnan luminanssia. Tästä esimerkkinä tiemerikintä ja sen luminanssin silmämääräinen arviointi. Sitävastoin luminanssierot silmä havaitsee hyvin eli kontrastiherkkyys on varsin suuri. Mentäessä silmän äärilaidoille herkkyys laskee voimakkaasti. Kuitenkin ääreisnäkökentässä nähdyt kontrastit koetaan voimakkaina.

Kontrastiherkkyteen vaikuttavat kohteen koko, valaistustasot, varjon muodostus ja värit. Mitä suurempi kohteen ja taustan ero on, sitä paremmin kohde näkyy. Mitä suurempi kohde, sitä paremmin se näkyy, koska silmän erottelukyky on suhteellisesti parempi laajalla alueella. Myös voimakkaat värierot luovat eroja kontrastiin varjojen ohella. Mitä suurempi kohde on, sitä suurempi

kontrastiherkkyys. Näistä yhdessä seuraa: mitä leveämmät ja näkyvämmät tiemerkinnät ovat, sitä vähemmän silmän tarvitsee tehdä töitä niiden havaitsemiseksi. Mitä näkyvämmät tiemerkinnät ovat, sitä vähemmän silmän tarvitsee kiinnittää katsetta niihin ja havainnointi tapahtuu liikkumisnäön alueella.



Tässä on havainnollistettu kahta erilaista kontrastia, kahdella valkoisella kilvellä. Etualalla oleva kilpi havaitaan negatiivisen kontrastin ja taka-alalla oleva positiivisen kontrastin avulla.

Rea

Aluksi kontrastiherkkyys kasvaa nopeasti taustan luminanssin kasvaessa, kunnes häikäisy huonontaa sen.

Kun tarkastellaan itsesäteileviä tai hohtavia kohteita puhutaan luminanssierosta. Tämä on tilanne UV-valojen käyttökohteissa. Luminanssijakauma ympäristössä vaikuttaa kontrastiherkyyteen. Suurimmillaan se on, kun koko näkökentän luminanssi on yhtä suuri. Valon värillä ei käytännössä ole väliä.

Tiemerkintöjen kannalta kynnysluminanssi on keskeinen asia. Se kuvaa pienintä havaittavissa olevaa luminanssia ja riippuu näkemiseen saadusta ajasta ja kohteen koosta. Suuria kohteita voidaan erottaa hyvinkin alhaisilla valaistustasoilla (10^{-6} cd/m²), jos aikaa on tarpeeksi. Ajettaessa sitä ei kuitenkaan ole. Kun kohteet ovat pieniä - ≤ 1 näköaste - ja aika lyhyt - $< 0,1$ sekuntia - kynnysluminanssi noudattaa seuraavia lakeja:

$$\text{Luminanssi} \cdot \text{Ala} = \text{Vakio}$$

$$\text{Luminanssi} \cdot \text{Aika} = \text{Vakio}$$

Havaitsemisnopeus on käänteisarvo siitä aikavälistä, joka kuluu kohteen ilmestymisen ja sen muodon havaitsemisen välillä. Havaitsemisnopeus kasvaa sitä mukaan kun sopeutumisluminanssi kasvaa, kohteen koko kasvaa sekä taustan ja sen kohteen välinen kontrasti lisääntyy. Lasihelmet lisäävät tiemerkintöjen luminanssia ja kontrasti lisääntyy. Mitä leveämmät tiemerkinnät ovat ja mitä enemmän paluuheijastusta antavaa pintaa niissä on, sitä nopeammin ne havaitsee.

Silmä on hyvin sopeutumiskykyinen elin, mitä tulee erilaisiin luminanssitasoihin auringon valosta kuun valoon. Ensinnäkin reagoi pupilli ja sitten verkkokalvo. Kun luminanssi on 10^{-6} ... 10^{-2} cd/m², eli on hämärää, näkemiseen käytetään vain sauvasoluja. 10^{-2} ... 10 cd/m² alueella toimivat kummatkin näkösolut ja yli 10 cd/m² näkemiseen käytetään vain tappisoluja. Ylärajaa ei periaatteessa ole. Häikästyminen asettaa ylärajaksi 10.000 cd/m². Tiemerkintöjen paluuheijastuvuus ilmoitetaan millikandeloina, joka on 10^{-3} cd/m².

Silmän sopeutuminen ei kuitenkaan tapahdu nopeasti. Sopeutuminen riippuu mistä tasosta silmä lähtee ja mihin sen on asetettava. Valosta hämärään silmä sopeutuu kaksivaiheisesti. Aluksi herkkyys lisääntyy satakertaiseksi ja sen jälkeen 20 ... 30 minuutissa 1.000 - 10.000 kertaiseksi, jolloin sauvasolut sopeutuvat. Valoisaan mentäessä reaktio on paljon nopeampi, mutta kaksivaiheinen. Ensin tarvitaan vain sekunnin kymmenesosa ja sitten noin minuutti. Hämäränäkeminen voi häiriintyä mm. sairauden takia, jolloin sopeutuminen hidastuu. Näkeminen hämärässä häiriintyy myös häikäisyalttiuden takia. Tällöin kirkas valaistus aiheuttaa heikennyksen näkemiseen.

Silmä mukautuu katseluun muuttamalla taittovoimaa. Silmän optiikan tehtävänä on taittaa valonsäteet verkkokalvolle terävinä. Valo taittuu pääasiassa sarvieskalvon etupinnalla ja mykiössä. Kun silmä on tarkentunut katsomaan kauas, ovat silmän lihakset lepotilassa. Lähietäisyydelle katsottaessa lihakset supistuvat ja siksi lähelle katselu koetaan rasittavammaksi, kuin kauas katsottaessa. Ajotilanteessa silmä pyrkii lepotilaan eli katsomaan kauas tahtoi ajaja sitä tai ei. Mukautumiseen vaikuttaa myös valaistustaso. Heikossa valaistuksessa kaukopiste siirtyy lähemmäksi. Tällöin nopeus mukautumiseen ja mukautumisen tarkkuus pienenevät. Silmän kaukopiste on päivällä eri kuin pimeällä valoilla ajettaessa.

Yhteis- eli stereonäkö tarkoittaa, että kummatkin silmät tarkentuvat yhtäaikaan samaan kohteeseen ja aivoissa muodostuu yhteinen kuva, mikäli silmien välittämä tieto on riittävän paljon samanlaista. Stereonäkö parantaa hieman näöntarkkuutta ja merkittävin se on etäisyyksien arvioinnissa, mutta ihminen ei ominaisuutta välttämättä tarvitse. Niillä, joilla on synnynnäinen karsastus, ei ole stereonäköä - eikä tule vaikka silmät oikaistaisiin leikkauksella. Ominaisuuden puutteen he kompensoivat yhdistämällä seitsemän eri näköhavainnoimisen elementtiä. Kolmiulotteisen vaikutelman syntymiseen vaikuttavat:

1. Lähempänä oleva esine peittää kauempana olevan silloin, kun ne ovat samalla linjalla
2. Esineisiin lankeava valo - varsinkin, kun valo osuu kohteeseen vinosti ja sivulta.
3. Tien reunaviivat yhtyvät kauempana.
4. Homogeenisen pinnan osaset pienenevät, tummuvat ja tihenevät kauempana.
5. Kirkkaudeltaan samanlaisista kohteista kauempana olevat ovat tummempia.
6. Liikuttaessa eteenpäin, nähdään gradienttien laajenevan ja etäännyttäessä kohteesta pienentyvän. Näin syntyy kineettinen syvyysvaikutelma.
7. Verkkokalvokuvan koko on oleellinen tekijä.

Verkkokalvolle kuva muodostuu, kun kohde, silmät ja pää yhdessä tai erikseen liikkuvat. Silmälihasten liike ottaa koko ajan huomioon pään liikkeen. Silmien liike on automaattista vaaka- ja pystysuoraa tai pyörivää liikettä.

Kun tiemerikintä on riittävän voimakas ja selkeästi näkökentässä, silmän ei tarvitse kiinnittää katsettaan niihin. Heikko reunaviiva aiheuttaa katseen kohdistumista. Kun reunaviiva on voimakas, ajaja voi keskittää rajallisen energiansa oleellisempaan ja siirtää keski- ja etenkin reunaviivan seuraamisen alitajunta-tasolle. Tämä tarkoittaa, että tietoisuustaso ei laske, mutta seuraamiseen tarvittava energian tarve laskee erittäin paljon ja ajosuorituksen laatutaso nousee.

Siinä missä jokainen on joko vasen- tai oikeakätinen, jokainen on myös vasen- tai oikeasilmäinen. Puhutaan johtavasta silmästä.

Silmät ja näkö vanhenevat. Jo lapsuudessa alkavat muutokset silmän ja näköjärjestelmän toimintakyvyssä. Voimakkaimpia muutokset ovat silmän linssissä. Linssi eli mykiö on suhteellisen kovaa ainetta, jossa vettä on noin 65%. Se kasvaa koko eliniän ja siitä tulee alati paksumpi. Mykiö muuttuu myös kemiallisesti. Sen valkuaisainerakenne muuttuu ja kalkin määrä kasvaa. Linssi kovettuu ja mukautumiskyky laskee. Nopeimmat muutokset ovat alle 20-vuotiailla. Silloin muuttumista ei juurikaan huomaa kuin vasta paljon vanhemmalla iällä. Linssiin saattaa tulla samentumia aineenvaihduntahäiriöiden seurauksena. Niin kauan, kun samentumat ovat pieniä ja mustuaisen takana, ne eivät häiritse muulloin kuin hämärässä tai pimeässä, jolloin mustuinen on suurimmillaan. Jos samentumat ovat mustuaisen edessä, aiheuttavat ne kuvassa vääristymiä ja lisäävät häikäisyalttiutta. Vanhemmiten linssin keskiosa kovettuu ja tulee kahvinruskean sävyiseksi. Tällöin henkilön värisävyjen erotuskyky muuttuu.

Se, että ikä muutta näköä, on täysin normaalia. Ilmiötä kutsutaan ikänäkemiseksi ja sen huomaa 40 ... 45 vuoden iässä. Lähipiste siirtyy kauemmaksi. Silmän mukautuminen hidastuu, jolloin tarkentaminen heikentyy lähietäisyyksille. Linssin paksuntuessa verkkokalvolle pääsee alati vähemmän valoa. Samoin pupilli pienenee ja sekin vaikuttaa valon perillepääsyyn. Yhteisvaikutuksesta johtuen 60-vuotiailla on verkkokalvon valaistusvoimakkuus kolmasosa 20-vuotiaisiin nähden ja siksi valastustason nostotarve vanhemmilla on ilmeinen. Käytännössä tämä tarkoittaa pimeällä ajotilanteessa 60 m:n näkemämatkan (puolivalot) lyhentymistä yli kymmenellä metrillä. Ikääntymisen aiheuttaman näkökyvyn heikentymisessä käytetään kaikkialla maailmassa Blackwellin mallia. Vaikka siinä on havaittu yleisiä heikkouksia, voidaan mallia silti käyttää hyväksi tiementäntöjen näkemämatkoja laskettaessa. Useimmissa kenttäkokeissa todetut havaintomatkat toteutuvat erittäin hyvin.

Iän myötä myös verkkokalvolle muodostuvan kuvan laatu laskee. Kontrastit heikkenevät, koska kuva on epäselvä ja valo hajoaa silmissä. Valon hajoamisesta silmissä johtuu alati kasvava estohäikäisy. Estohäikäisyä aiheuttavat kirkkaat valonlähteet, kuten vastaantulevien ajoneuvojen valot. Näkemistä voidaan kuitenkin parantaa kontrasteja parantamalla - tiementäntöjen paluuheijastavuutta kasvattamalla ja säilyttämällä hyvä taso.

Vanhemmiten silmän sopeutumiskyky laskee. Hämärään sopeutuminen heikentyy merkittävästi ja luminanssivaihtelujen sietokyky voi heikentyä.

Sokeritauti, jonka esiintymisen määrä on jo suuri ja kasvaa jatkuvasti, vaurioittaa mykiötä ja verkkokalvoa. Värien erotuskyky laskee ja häikäisyherkkyys nousee. Myös näkökenttä supistuu.

Lisäksi verkkokalvomuutoksia aiheuttavat verkkokalvon rappeumat, joista yleisin on perinnöllinen verkkokalvon rappeutuma - Retinitis pigmentosa. Tauti aiheuttaa kehittyessään putkinäköä.

Harmaakaihi samentaa linssin niin, että läpi ei näe. Lähes kaikilla yli 65-vuotiailla on jonkinasteinen linssin samentuma.

Ikääntyvien henkilöiden määrä liikenteessä kasvaa jatkuvasti ja se tulee huomioida liikennejärjestelyissä. Näkyvät ja tehokkaat tiemeröntät harmonisoivat ja parantavat huomattavasti pimeän aikana näkemisolosuhteita. Liian näkyvät ja liian tehokkaasti heijastavat liikenneopasteet heikentävät pimeän aikana näkemisolosuhteita.

Havaitseminen

Valtaosa informaatiosta välittyy siis näköaistin kautta, mutta vain osa saadusta informaatiosta tulee hyödynnettyä. Kuljettaja saa ympäristöstä hyvin paljon tietoa, mutta ajotapahtuman kannalta tietoa on loppujen lopuksi vähän. Syy siihen on havaintotoimintojen rajallisuus ja valikoivuus. Puhutaan ns. yksikanavajärjestelmästä, joka karsii ärsykeitä jopa suhteessa 1/1.000.000. Vain yksi ärsyke voidaan havaita kerrallaan. On olemassa havaintokohteita, jotka on havaittava tietoisesti ja muistettava myöhemmin, kuten opastetaulussa olevat tiedot. On myös kohteita, joita ei tarvitse havaita aktiivisesti, vaan tiedostomattomasti, kuten tiemeröntät. Kuljettajan informaation hankkimisessa erotetaan toisistaan informaatio, havainto, arviointi, ratkaisu ja suoritus.

Ajoneuvon kuljettaja käyttää hyväkseen keskeistä ja ääreisnäköä. Ääreisnäön avulla hän tekee havaintoja kohteista ja silmän liikkeiden avulla tulee kohde tarkan näkemisen alueelle. Kun kuljettaja käyttää kumpaakin näköä samanaikaisesti, voidaan todeta, että keskeisnäkösuorituksen vaikeuttaminen huonontaa ääreisnäköä. Mitä vähemmän katseen tarvitsee kohdistua eri pisteisiin tai kohdistuspisteiden määrä on edellistä vähäisempää, näkemisolosuhteet paranevat. Jos tiemeröntät puuttuvat tien reunoilta tai meröntät ovat huonot, etsii katse aktiivisesti tien reunaa ja kohdistuu vähän väliä johonkin tienvarsipisteeseen. Ajosuorituksen laatu laskee ja esim. kohtaamistilanteet vaikeutuvat.

Katseenkohdistus mielletään hyvin usein tarkkaavaisuuden suuntaamiseksi. Kohdistus ei kuitenkaan aina riitä, että havainto syntyy. Osa havainnoista tehdään ääreisnäön avulla. Kuljettajan katse kohdistuu pääosin ajorataan ja muihin tiellä liikkujiin. Kaikki se tieto, joka liittyy suoraan ajosuoritukseen, havaitaan hyvin. Muu karsiutuu aktiivisesti pois. Motivaatiolla on suuri merkitys siihen, mihin katse kohdistuu ja johtaako kohdistus havaintoon.

Mitkä kaikki asiat vaikuttavat "näkemiseen" tai mikä tekee mm. tiemeröntästä kuljettajalle näkyvän - tajuttavan? Havaitseminen ja näkeminen on yksilöllistä. Sen lisäksi havaintokyky yksilöllä vaihtelee suuresti jo yhden ajorapeaman aikana. Se taas johtuu mm. motivaatiosta, vireydestä, eri aineiden, kuten alkoholi, lääkkeet, kahvi, jne. vaikutuksista. Näkemiseen vaikuttaa taas silmän kunto ja valaistusolosuhteet valoisana, hämäränä ja pimeänä aikana. Havaintokyky vaikuttaa enemmän näkemiseen kuin näkeminen havaintokykyyn, vaikka kyseessä onkin tapahtumaketju.

Näkötehokkuus

Seuraavaksi käsitellään näkemiseen liittyviä fysikaalisia tekijöitä - niitä asioita, jotka ilmenevät silmän ulkopuolella, mutta jotka liittyvät oleellisesti näkötehtävään, jota tarvitaan mm. ajaessa.

Suorittamiseen tarvitaan viisi komponenttia: koko, kontrasti, aika, luminanssi ja väri. Moitteettomaan näkösuorituksen edellytyksenä on, että henkilön ikänäkeminen ei vaikuta, hän ei ole väsynyt, harjaantumaton, stressaantunut tai hämmentynyt. Jos yksi tai useampi edellämainituista elementeistä ei ole kunnossa, näköpotentiaali on olemassa, mutta näkötehokkuus on alhainen.

Kohteen koko on hyvin suhteellinen käsite, joten määrääväksi tulee näkötehtävän kannalta pienimmän vaadittavan yksityiskohdan koko.

Kontrastia ja luminanssia on käsitelty edellisessä jaksossa ja käsitellään kohdassa *Valaisumuinaisuudet*, jossa käsitellään myös aikaa ja värejä.

Näkemisessä koko, aika, kontrasti ja luminanssi ovat tiukassa keskinäisessä suhteessa keskenään seuraavasti:

1. Kun koko kasvaa, näkyvyys kasvaa.
2. Mitä enemmän aikaa näkemiseen on käytettävissä, sitä todennäköisemmin kohde nähdään.
3. Mitä enemmän kontrasti kasvaa, kasvaa näkyvyys. Tumman kohteen tummentaminen vaaleaa taustaa vasten tai taustan vaalentaminen parantaa näkyvyyttä.
4. Luminanssin kasvaessa näkyvyys paranee.

Näkötehokkuuteen vaikuttaa hyvin merkittävästi erilaiset häikäisy. Häikäisy on tunne, joka johtuu näkökentässä olevasta luminanssista, joka on suurempi kuin se luminanssitaso, jolle silmät ovat sopeutuneet. Häikäisy ilmenee epämukavuutena ja/tai näkyvyyden selvänä huononemisenä ja se on yksi valaistuksen pahimpia epäkohtia. Häikäisyyden on autoteollisuus kiinnittänyt jo pitkään paljon huomiota. Häikäisy menee ohitse, kun silmä ei ole vielä ehtinyt tottua uuteen entistä suurempaan luminanssiin tai kontrastiin. Heti, kun silmä on tottunut tilanteeseen, häikäisy häviää. Jos luminanssierot ovat jatkuvia ja liian suuria olosuhteisiin tottuneelle silmälle, häikäisy jatkuu. Tämä tilanne syntyy yleensä valolähteiden ja niiden peilaantumisien takia.

Heijastushäikäisyn aiheuttaa katsesuunnassa tai sen lähellä olevat heijastumat, kuten opastetaulun kuvastuminen märkään tien pintaan. Itseasiassa tässä esimerkkitalanteessa vaikuttaa yhtäaikaisesti myös harsoheijastuminen.

Kohteen kontrasti voi heikentyä huomattavasti, jos kirkas pinta heijastuu kohteesta suoraan silmiin. Tämä tapahtuu esim. suunnistustaulun heijastuessa yksin pimeällä pitkällä valoilla ajettaessa ja kun taulu on lähellä omaa ajoneuvoa tai kauempana keskellä vasenta kaarretta. Kyseessä on harsoheijastuminen. Silloin ei tiemerikintä näy laisinkaan. Käytännössä tilanteesta selviää laittamalla päälle puolivalot. Himmeäpintaisilla kohteilla harsoheijastumaa ei tapahdu.

Kiusahäikäisy aiheuttaa epämiellyttävän tunteen, mutta ei välttämättä heikennä näköä. Tilanne syntyy, kun omaan suuntaan nähden risteykseen tulee kohtisuorassa ajoneuvo.

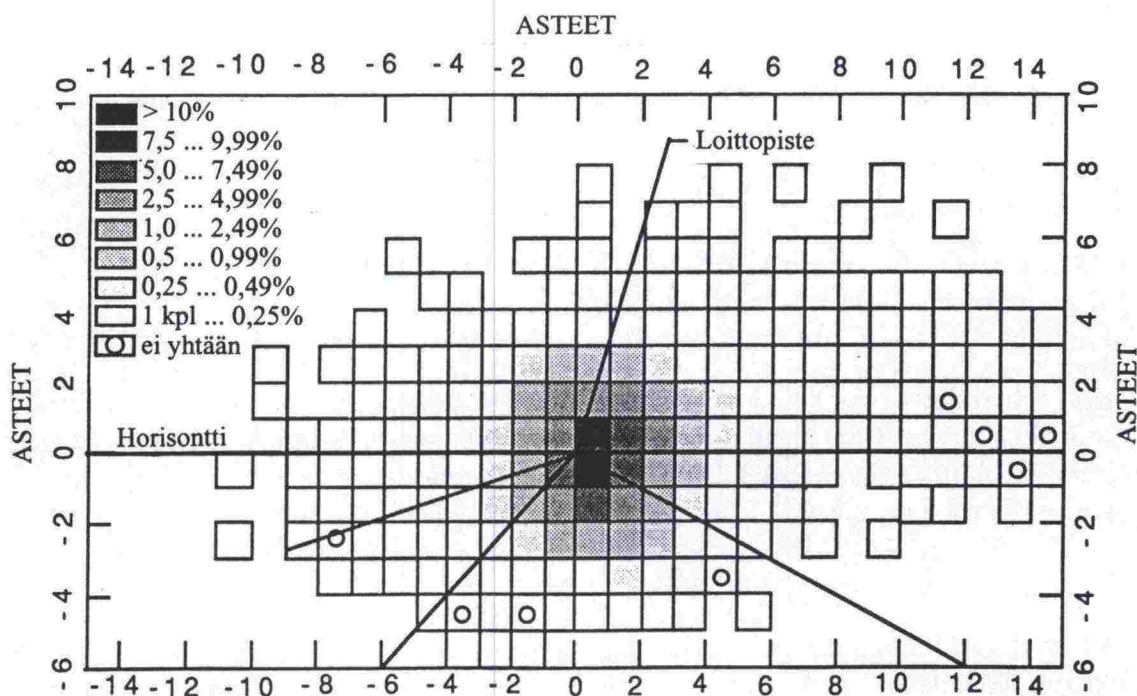
Estohäikäisy heikentää näkemistä, mutta ei välttämättä aiheuta epämiellyttävää tunnetta.

Suora häikäisy syntyy tilanteessa, jossa valolähde näkyy suoraan, kuten vastaantulevan ajoneuvon valot. Mitä enemmän esim. lamppu on keskellä näkökenttää, sitä enemmän se häikäisee. Jos lamppu on näkökentän ylälaidassa, häikäisy on vähäisempää. Esimerkkinä ovat katuvalot.

Näkyvyys eri olosuhteissa ja valaisuolosuhteiden vaikutus merkintöihin

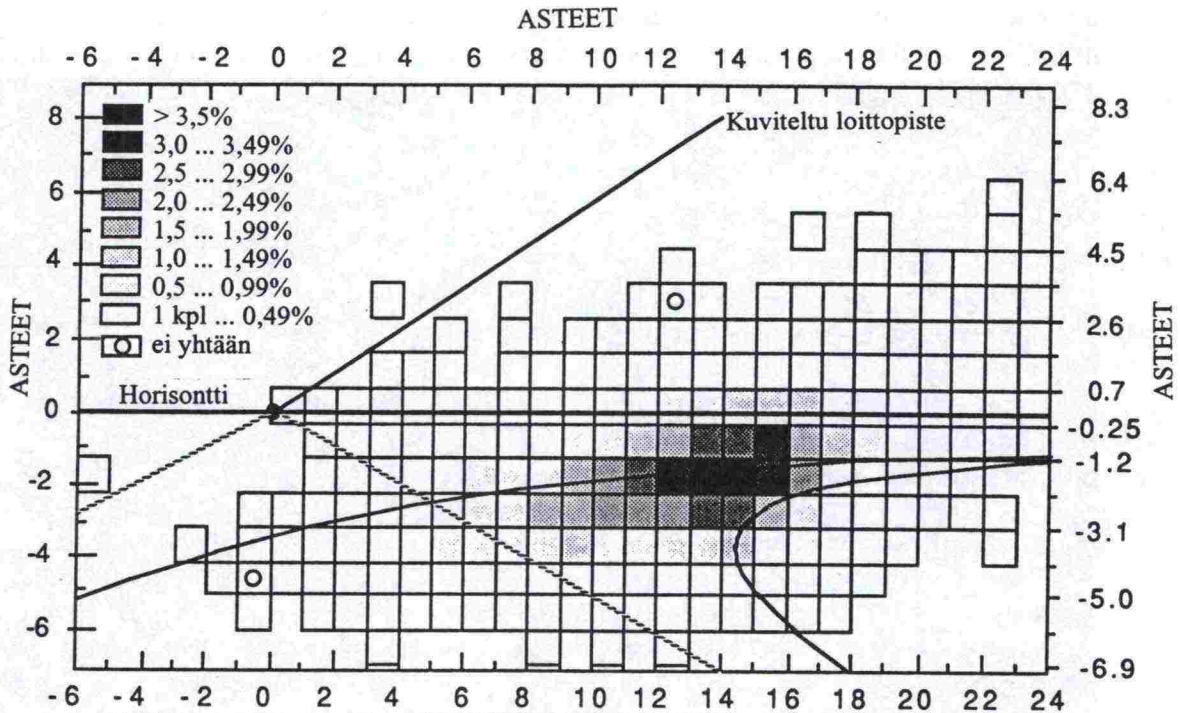
Mitä kuljettaja katsoo, riippuu hyvin paljon liikennetilanteesta ja vallitsevista tieolosuhteista. Päivällä kuljettajan katse kiinnittyy pääasiassa oman kaistan reuna- ja keskiviivan väliin painottuen enemmän reunaviivan puolelle. Katse pyrkii horisonttiin. Tätä pistettä kutsutaan kuumaksi pisteeksi. Pimeällä pisteen kohta muuttuu pitkällä valoilla ajettaessa jonkin verran valoisan ajan kuumaan pisteeseen nähden, koska pitkät valot antavat hajavaloa ylös valaisten enemmän ympäristöä kuin puolivalot. Puolivaloilla kuuma piste siirtyy lähemmäksi ajoneuvoa valon ja pimeän rajaan. Kuuma piste on laskenut tällöin noin 200 m:stä korkeintaan 60 m:iin. Vastaantulijoiden valot siirtävät katseen väkisin vastaantulevia valoja kohti ja vain tietoisesti opettelemalla katseen saa pysymään tien oikeassa reunassa. Ajaja joutuu tekemään kovasti töitä pitääkseen katseen halutussa suunnassa. Silmän valoon hakeva liike on selvästi tunnistettavissa ja se saattaa aiheuttaa epämukavaa tunnetta. Väsymys pahentaa tilannetta.

Katsetta ohjaa alitajuntaisesti reunamerkintä. Jos reunamerkintää ei ole, katse hakee tien reunan tai jonkin muun pinnan muodon tien laidasta, joka pystyy antamaan ohjaavaa signaalia ajoneuvon suuntaamista ja tiellä pysymistä varten. Katse suuntautuu itsesuojeleluvaiston perusteella.



Kuvan tummimmat kohdat osoittavat mihin kohtiin katse eniten on pimeällä kiinnittyneenä. Tämä on tilanne, kun ajonopeus on noin 80 km/h. Katseen kohdistuminen edessä olevaan ajoneuvoon 13,3% kokonaismäärästä.

Ajovalojen kuuma piste pyritään sijoittamaan katseen kuumaan pisteeseen. Pitkien ja puolivalojen kuuma piste sijaitsee toisiinsa nähden eri paikoissa ja ovat eri muotoisia. Valojen standardoinnista huolimatta kullakin autotyypillä ja mallilla on yksilöllinen valaisukuvio. Kuvioon vaikuttavat lampun koko, linssin hionta ja muoto, peilin muoto ja tarkkuus, ajovalojen etäisyys toisistaan ja tiestä. Eurooppalainen kuviostandardi poikkeaa amerikkalaisesta. Eurooppalaisessa kuuma piste on pienempi verrattuna amerikkalaiseen. Eurooppalainen kuvio on reunoiltaan terävä eikä anna paljoa hajavaloa. Amerikkalainen kuvio antaa paljon hajavaloa ylös ja voimakkaan keilan oikeaan tien reunaan.



Tässä tien kaarre vastaa liittymää. Kuvan tummimmat kohdat osoittavat mihin kohtiin katse eniten on pimeällä kiinnittyneenä. Tämä on tilanne, kun ajonopeus on noin 40 km/h. Katseen kohdistuminen edessä olevaan ajoneuvoon 0,7% kokonaismäärästä.

Kiinteä tievalaisu perustuu siluettiperiaatteeseen. Periaatteen tarkoituksena on valaista ympäristö, ei kohde. Näkökohde havaitaan vaaleaa taustaa vasten. Tällöin ympäristön ja kohteen välille syntyy negatiivinen kontrasti. Positiivinen kontrasti syntyy, kun esim. ajovalot valaisevat kohteen. Kummassakin kontrastitapauksessa näkemiseen liittyvät ehdot ovat yhtenevät. Mitä tasaisempi keskimääräinen luminanssi, sitä paremmat havainto-olosuhteet. Asiaa on havainnollistettuna aiemmin positiivista ja negatiivista kontrastia esittävällä kuvalla.

Tien pinnan luminanssi vaikuttaa kuljettajan silmien kontrastiherkkyyteen ja tiellä olevien esteiden kontrastiin taustaa vastaan. UV-valoja käytettäessä tien pinnan luminanssilla ei ole merkitystä oli tiellä kiinteä valaistus tai ei.

Kaukovaloilla kohdattaessa näköetäisyydet usein kasvavat alussa, mutta häikäisy pudottaa hyvin nopeasti etäisyyttä. Yksin pitkällä ajettaessa halogeenivaloilla näköetäisyys on noin 180 m. Kohdattaessa vastaava etäisyys on pudonnut noin 60 m:iin.

Tähän asti käsiteltäessä ajovaloja ja niiden vaikutusta näköetäisyyteen on otaksuttu, että valot ovat suunnattu oikein. Mitä pienemmiksi ajoneuvojen lamput tulevat, sitä vaikeammin ne saadaan suunnatuksi oikein ja sitä herkemmin ne liukuvat pois asetuksista. Pienikokoisissa lampuissa pieni muutos on merkittävä. Esim. perinteisen kokoisissa halogeenilampuissa 1 cm liian alas suunnatut valot kohtaavat tien pinnan 25 ... 35 m:n päässä. Tien reunan ne kohtaavat noin 50 m:n päässä. Jos väärä suuntaus on 1 cm ylös, vastaantulija häikäistyy. Kuormitus autossa, jossa on passiivinen jousitus, aiheuttaa myös helposti valojen suuntautumisen liian ylös. Jos vastaantulijan valot on suuntautuneet väärin 1 ... 2 astetta ylös ja omat ovat oikein, pienenee näköetäisyys 25 ... 30% eli 60 metrin näköetäisyys on laskenut 45 m ... 40 m:iin. Kosteaa tienpintaa kasvattaa näköetäisyyttä tässä tapauksessa noin 5 metrillä.



Vastaantulija on noin 120 m:n päässä, sivutien risteykseen on 20m ja kilpeen 60m. Kummallakin on puolivalot. Tiemerkinnät ovat noin 6 viikkoa vanhat.

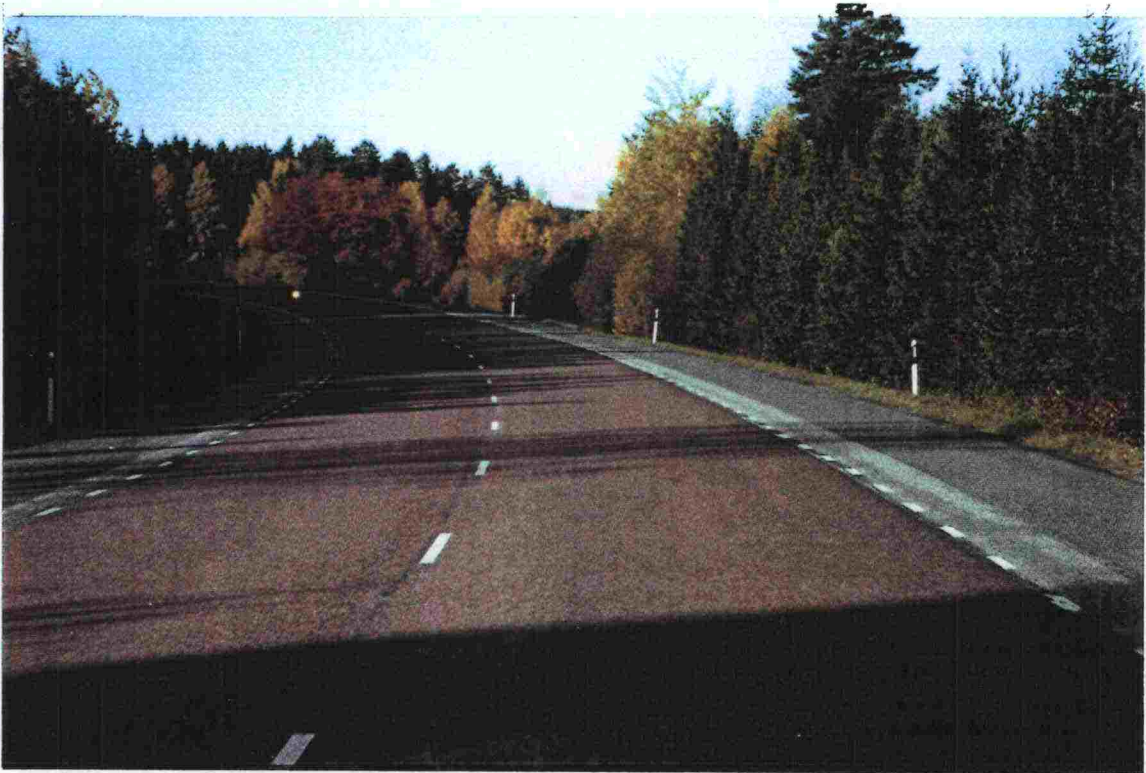
Sateella tai sateesta kostea tienpinta on kiinteässä tievalaistuksessa vaalea. Näissä olosuhteissa tiemerkinnät näkyvät mustina - negatiivina. Ilmiö on voimakas paksumpien merkintöjen kohdalla, mutta maalien kohdalla sitä tuskin huomaa. Syynä on tien pinnassa tapahtuva valon hajataittuminen. Tasainen merkintä toimii kuin peili ja heijastaa valon suoraan takaisin kohti valon lähdettä. Havainnoitsijan tulee olla lähellä ennenkuin hän huomaa merkinnän niin kuin se on tarkoitettu nähtäväksi kontrastin ja luminanssin avulla. Paluuheijastavuutta ei merkinnässä ole, koska vesikalvo imee valoa ja taittaa lopun valosta tien käyttäjän kannalta väärin. Vesi on myös jatkuvassa liikkeessä, joten veden pinnan väreily estää pimeällä merkinnän näkymisen vaikka kontrastia ja luminanssia merkinnässä teknisesti olisikin. Ilmiö on sama kuin kirkasvetisen tasaisesti vuolaana virtaavan puron pinnasta yrittäisi löytää omaa kuvajaista.

Kaikissa ylläolevissa tapauksissa oletetaan, että ajovalot ovat puhtaat ja polttimot tuoreet. Lampun linssi voi likaantua aivan vapaasti 30% ilman, että kuljettaja

huomaa yhtään muutosta huonompaan. Sama 30%:n sääntö pätee myös tuulilasin kohdalla. Lika lampun tai tuulilasin pinnalla - sisä- tai ulkopuolella - aiheuttaa häikäisyä. Kun lamppujen likaantuminen on runsaampaa, häikäisy laskee voimakkaasti, koska lika imee suurimman osan valosta. Vastaantulija huomaa tämän valojen ruskean kellervästä sävystä. Kohtaavien ajoneuvojen lamppujen pieni (20%) likaantuminen kasvattaa näköetäisyyttä aavistuksen verran.

Kaikissa ylläolevissa näköetäisyyksissä havainnoitsija on kuviteltu alle 30-vuotiaaksi, silmiltään terveeksi ihmiseksi. 60-vuotialla ikänäkemisen johdosta etäisyys on laskenut noin 30%. Käytännössä heidän kohdalla puhutaan vähän yli 20 m:n pituisista näköetäisyyksistä, koska edellisen lisäksi ärsyyntyminen häikäisylle on kasvanut suuresti.

Kaikissa ylläolevissa tapauksissa asfaltin pinta on ollut valoa imevä tumma asfaltti. Mitä huokoisempi asfaltti on ja sataa, sitä tummempana massamerkinntä näkyvät mustina vaaleassa tien pinnassa. Mitä vaaleampi tien pinta on, sitä lyhyemmiksi näköetäisyydet laskevat kontrastisuhteen laskun myötä. Kulunut tien pinta, jossa on kiviaines esillä ja asfaltti, jossa on käytetty vaaleata tai punertavaa kiviainesta ovat pimeäolosuhteita silmälläpitäen heikommat kuin mustan ja huokoisen asfaltin. Tämä on sinänsä yllättävää, koska punainen tienpinta toimii päivällä erittäin hyvin ja on miellyttävä ajaa.



Kuva on Tukholman eteläpuolelta. Tästä näkee kuinka tehokkaasti eriväriset tien pinnat kanavaoivat päivällä. Pimeällä musta ja huokoinen tienpinta on paras. Tässä tiemerkinntä edustavat vanhaa merkinntätapaa.

Kaikissa ylläolevissa tapauksissa tiemerkinntät ovat olleet 10 cm leveitä. Jos merkinntän leveys kasvaa 30 cm:iin, kasvaa näköetäisyys 24%:lla kaikissa tapauksissa:

1. Halogeenivaloilla kohdattaessa 60 m:stä 74 m:iin

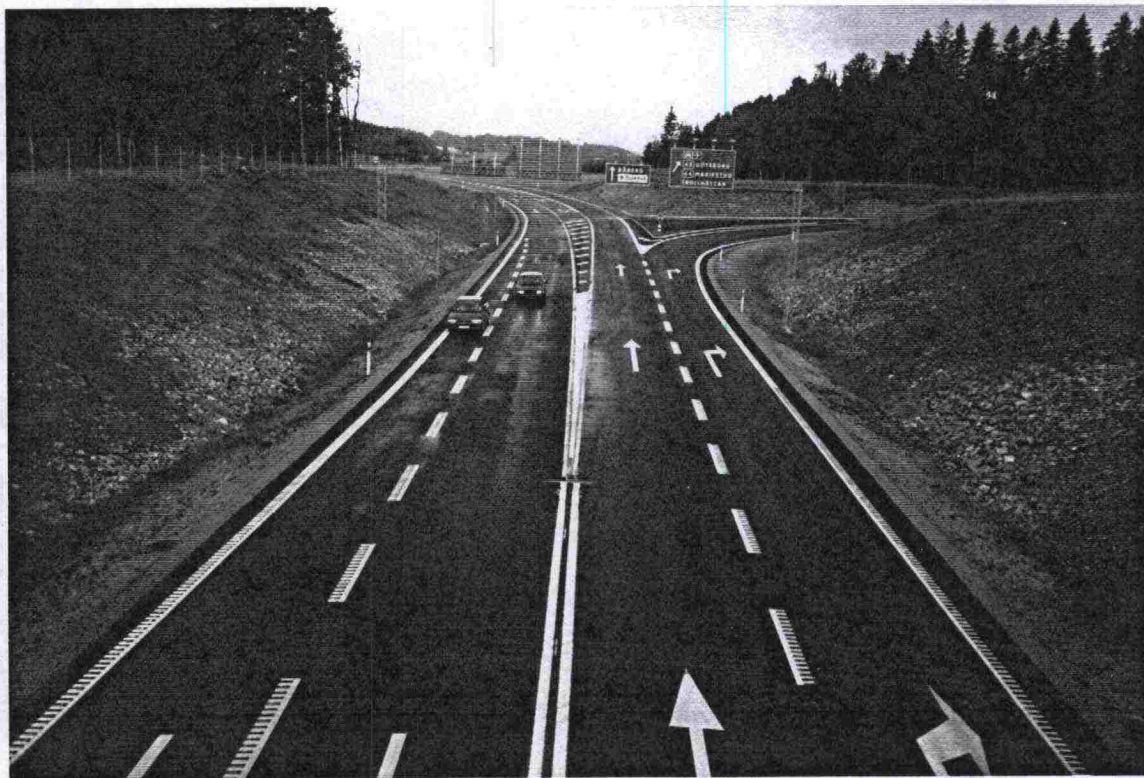
2. Liian alas suunnattuihin valoihin muutos tuskin merkittävä.
3. Kohtaaminen väärin suunnattujen valojen kanssa 40 m ... 45 m:stä 50 m ... 56 m:iin.
4. Ikänäkemisen aiheuttama heikentävä vaikutus vähenee ja näköetäisyys lienee yli 30 m.

Jos sääolosuhteet heikkenevät voimakkaan sateen, lumipyryn tai sumun takia, kuljettaja jättää tietoisesti ensimmäisenä liikennemerkkien havainnoimisen keskittyen tiellä pysymiseen. Niissä olosuhteissa jäljelle jäävät ajoa ohjaavana tekijänä tien pinta ja tiemerkinntät.

Ylläolevasta ilmenee kuinka suuri merkitys tehokkailla tiemerkinntöillä on näkemisessä ja etenkin kohtaamistilanteessa. Näköetäisyydet ovat pimeällä ajettaessa todella lyhyet. Kuljettajalla ei kykene lyhyillä valoilla peräkkäin vastaantulevan liikenteen seassa määrällä kelillä heijastavan opastetaulun edessä näkemään tietä saatika kevyttä liikennettä. Häikäistys vallitsee. Siksi tiemerkinntöjen tulisi olla leveämmät kuin 10 cm, jotta ne saavuttaisi toiminnalliset vähimmäisvaatimukset ei vain laatustandardien, vaan ensisijaisesti tiellä liikkujan ehdottoman tarpeen ja turvallisuuden vuoksi.

Liikenneväylien merkitseminen ja liikenneohjaus

Tiet



Kuva uudesta tavasta käyttää tiemerkinntöjä Ruotsissa.

Tiemerkinntät ohjaavat kanavoimalla tehokkaasti liikennettä kaupungeissa ja risteyksissä. Liikenteen ohjaus tulee toteuttaa niin, että merkinntät ovat valtaväylillä selvät ja selkeät; tulkinnan varaa ei saa olla. Niin kaupunkien sisään-tulo- ja ulosmenoväylillä, kuin myös syöttöväylillä merkinntöjen informaation välityskyky ei saa poikeata toisistaan tai laskea, vaikka teiden

ylläpitäjäorganisaatiot vaihtuvatkin. Loppukäyttäjän kannalta on yhden tekevää kuka tietä hallitsee. Hän käyttää tietä sen "omistajuudesta" riippumatta ja haluaa päästä turvallisesti perille.

Teitä voidaan käyttää hyväksi tehokkaasti tai sitten niitä voidaan ylläpitäjän toimesta käyttää vajaatehoisesti, joka tarkoittaa investoinnin väärinkäyttöä. On oleellista ymmärtää miten tehokkuus saadaan aikaiseksi. On löydettävä keinot, joilla vaikuttaa tien käyttäjään ja keinojen tulee olla sellaiset, että kaikki käyttäytyvät saman suuntaisesti. Kun käytetään ihmisen alitajuisia toimintoja, päästään haluttuun tulokseen. Alitajunnan hyödyntäminen ei ole tuntematona ja sovelluksia löytyy monelta elämän alalta, joten mikään ei estä saman ilmiön hyväksikäyttöä tiemerkinnöissä.

Sovelluksia on tiemerkintöjen puolella jo useita. Hollannissa pyörätiet ovat punaisia, Norjassa niistä tulee punaisen ruskeita. Tanskassa pyörätiet ovat sinisiä ylittäessään ajotien. Värien käyttö ei perustu mihinkään inhimillisen reaktion laukaisuun. Niissä tapauksissa on vain pyritty tieliikenteen visuaaliseen eriarvoisuuteen positiivisessa mielessä ja se toimii.

Ruotsissa on kaksi innovatiivista sovellusta kokeilun alaisena. Siellä on tiemerkinnät perinteisesti olleet 10 cm leveitä katkoviivoja. Ongelmana tienpidossa on ollut teiden uraantuminen täysin riippumatta siitä kuinka leveitä ajoväylät ovat olleet. Myös riippumatta siitä, että reunaviivan on ohitettava saanut ylittää. Tiemerkinnät kuluivat nopeasti ja näytti siltä, että ylläpitoon ei riitä varoja. Yhdentyvän Euroopan takia liikenneolosuhteita on lähdetty harmonisoimaan. Samoin on päätetty tehdä "jotain" liikenneonnettomuuksien kasvun ehkäisemiseksi ja määrän kääntämiseksi laskuun. Tiemerkinnät on päätetty valita siksi joksikin, koska mitkään muut toimenpiteet eivät ole auttaneet.



Kuva Ruotsista 13 m leveältä tieltä.

Ajoväylien leveys on otettu tehokkaaseen käyttöön. Leveää piennarta on kavennettu ajoväylän hyväksi kevyen liikenteen kustannuksella. Siihen on liittynyt riski, mutta se on otettu tietoisesti ja ilmeisesti riski on pienekkö.

Samalla tiemerkinä on levennetty 9 m:n teillä 10 cm:stä 20 cm:iin ja moottoriliikenneteillä - 13 m leveillä - 10 cm:stä 30 cm:iin.

Seuraukset ovat olleet merkittävät. Ensinnä enää alle 1% ajoneuvoista ylittää leveän reunaviivan. Määrän lasku on ollut erittäin suuri. Reunaviiva kestää nyt pidempään ja merkinätarve on laskenut. Toiseksi ajoneuvot sijoittuvat leveillä ajokaistoilla limittäin ja vähentävät näin urautumista. Vaikka pieni urautuminen saatetaan kokea turvallisuutta kohentavana tekijänä, on leveä reunaviiva paljon tehokkaampi turvallisuustekijä uriin nähden. Ensivaikutelma oli, että ajoneuvot siirtyivät jonkin verran vasemmalle, eli keskiviivaan päin, on tilanne nyt päinvastainen leveillä väylillä. Nykyään ajoneuvot sijoittuvat yleensä niin, että ensimmäisen ajolinja on lähellä reunaa ja jono takana sijoittuu limittäin keskiviivan suuntaan. Päivällä sivuttaissiirtymä on jonkin verran suurempaa kuin pimeällä. 13 m:n teillä sivuttaispokkeama on jopa 0,5 m.

Yllättävää on myös se, että nopeudet kasvoivat päiväsaikaan 9 m:n teillä, mutta vain hieman. Pimeällä nopeudet laskivat katkoviivaolosuhteisiin verrattuna. Tästä tuloksesta ei voida vetää suoranaista johtopäätöksiä, mutta trendi on havaittavissa. 30 cm leveä reunaviiva ei nosta nopeutta. Tulos poikkesi odotetusta. Raskaan liikenteen nopeuteen ei viivamuutoksilla ollut vaikutusta. 13 m:n teillä nopeudet nousivat, mutta liikenneonnettomuuksien määrä on niillä laskemaan päin.

Tien visuaalista ohjaavuutta ei voida mitata millään suureella, mutta vaikuttaa siltä, että voimakkaat viivastot edesauttavat oman sijainnin paremmassa arvioinnissa jopa reunapaaluja tehokkaammin. Reunapaalut, nimittäin liian tieheään asennettuna voivat aiheuttaa putkinäköä. Silmälle kohinasta muodostuu tahtomatta signaali, jonka vaikutuksen havainnointimekanismi haluaa häiritsevänä tekijänä suodattaa pois.

Leveä reunaviiva parantaa näkemistehokkuutta 50 kertaiseksi, koska kontrastiolosuhteet ovat parantuneet. 10 cm viiva on niin pieni, että se ei yleensä luo visuaalista ympäristöä, johon havainnointimekanismi voisi perustaa toimintansa. Myös viivan suunnittelu sopivan visuaalisen ärsykeen aikaansaamiseksi on osa tehokasta näkemistä. Kampakuviainen viiva - Kamflex - näyttää jo lyhyen matkan päästä yhtenäiseltä, mutta ääreisnäköalueella eli liikkumisnäön alueella, ärsyke toimii halutulla tavalla. Kamflexissä on 10 cm leveä jalkalinja ja 20 cm pitkät "piikit". Sateella jalkalinja peittyy veden alle, mutta kamman piikit ja niiden etureuna heijastavat hyvin tehokkaasti. Edellytyksenä on kuitenkin, että merkinnän paksuus on 4 mm.

Tieympäristöä pyritään eriarvoistamaan luomalla eriarvoinen merkinäympäristö muihin tavanomaisiin merkinäoihin nähden. Eriarvoistaminen voi vaikuttaa kuljettajaan kahdella tasolla: tiedottomalla tai tietoisella.

Tiedoton taso luodaan käyttämällä samantyyppisiä merkinäoija kuin muuallakin kyseisellä tiejaksolla, mutta vahvennettuna, kuten tämän kirjan toisessa kuvassa on tehty. Siinä risteuksen kaikki merkinnät on tehostettu ja merkkien pylväät päällystetty heijastavalla sini-valkoisella kalvolla. Muut sen alueen tiemerkinä ovat 30 cm leveitä viivoja ja keskiviiva Kamflexiä.

Tiedostettu taso saavutetaan muuttamalla tavanomaisten tiementekniikoiden väri sellaiseksi, jota ei muualla esiinny. Ruotsissa asfalttiteiden tiementekniikoiden merkintöihin käytetään päivänhohdepunaisia (ns. shokkiväri) tiementekniikanastoja. - Väliaikaisten ohitusteiden merkinnöissä käytetään punaista maalia, kuten seuraavassa kuvassa.



Liittymä ja Kamflex -merkintä.



Ruotsalaisella tientyöllä käytetään punaisia tiementekniikoita.

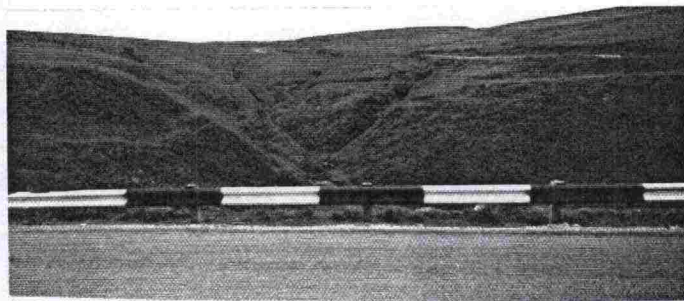
Toinen erittäin merkittävä tiemerikintöjen sovelluskokeilu on käynnissä. Se alkoi 1992 keväällä. Ongelmana oli liian korkeat taajamanopeudet, joita ei millään perinteisillä keinoilla saatu laskettua. Ei edes korokesaarekkeilla. Alueella on 50 km/h rajoitus ja siellä ajettiin 60 km/ ... 70 km/h. Tiemerikintäpäivillä 1993 videolta katsotussa ajossa arvioitiin nopeuksien eroiksi 20 km/h ennen ja jälkeen kokeilutiemerikintöjen.

Otettiin käyttöön tiemerikinnät. Sisääntuloväylien reunat merkittiin levein reunaviivoin. Käytännössä kaistan väylä kapeni reunaviivan verran. Tulos oli suorastaan järisyttävä. Nopeudet laskivat ainakin 30%. Hämmästyttävää on vielä siinä, että ihmiset, jotka käyttävät väyliä päivittäin ja tietävät vallitsevat olosuhteet, toimivat tahtomattaan suunnittelijoiden haluamalla tavalla. Nopeudet ovat pysyneet alhaisina, jopa alle 50 km/h. Tämä perustuu visuaaliseen ohjaukseen alitajunnan kautta. Siinä luodaan tilanne, jossa ihminen kuvittelee olevansa kapeammassa tilassa kuin mitä itse asiassa on. Kaikki perustuu kuljettajan katseen kiinnittymiseen ns. kuumaan pisteeseen ja kolmiulotteisen vaikutelman syntyyn.

Tutkimus on vielä kesken, mutta tulokset ovat niin rohkaisevia, että sitä jatketaan. Tutkimuksessa on mukana monta tahoa. Se on yksi merkittävimmistä yhteiskuntarakentamisen tutkimuksista koko Euroopassa ja miksei koko maailmassa tällä vuosikymmenellä.

Kaiteiden ja muiden pystypintojen käyttö

Tiemerikintöjä tarkasteltaessa laajemmin visuaalisen liikenneympäristön muodostajana, on mahdollisuus laajentaa merikintöjen tarkastelu tienpinnan tason yläpuolelle. Kaarre on ollut aina ongelmallinen ympäristö. Siksi joihinkin automerikkeihin on kehitetty kääntyvät ajovalot. Yksi tapa saada kaare näkyväksi jo hyvissä ajoin, on maalata kaiteet maalilla, jossa on lasihelmiä. Kaide on toiminnallisesti parempi kuin reunapaalu, varsinkin märissä olosuhteissa, jolloin tarvitaan tehokasta ohjautuvuutta. Reunapaalu saattaa vaurioitua. Niin saattaa kaidekin, mutta ei varmaankaan koko osuudeltaan. Auraus voi peittää kaiteen, mutta sen puhdistaminen on helpompaa kuin tiemerikinnan esille auraaminen, jota sitäkin pitää tehdä.



Kaiteet on maalattu mustalla ja valkoisella maalilla. Valkoisen maalin pintaan on ruiskutettu lasihelmiä. Tämä tapa on lähtöisin Englannista ja on leviämässä erittäin voimakkaasti Ranskassa, Espanjassa ja Saksan vanhoissa liittovaltioissa.

Kaiteisiin voidaan kiinnittää myös sitä varten kehitetyjä heijastimia, jotka kiinnitetään keskiuran pohjalle tai päälle. Heijastimet ovat kuin korvia. Niiden koko on noin 15 cm².

Puhtaanapito

Tiemarkintöjen puhtaanapito on suuri ongelma ei vain pohjoismaissa, vaan myös esim. Espanjassa. Meillä ongelmana on kura, etenkin nastarengaskautena. Espanjassa vuorostaan on pitkään jatkuva kuiva vuodenaika, jolloin hieno tomu peittää merkinnät. Kummassakin tapauksessa pesu on ainoa tapa torjua ongelma.

Ruotsissa on kokeiltu eri tapoja merkintöjen pesemiseksi, mutta lopulliseen ratkaisuun ei olla päästy. Ongelma ei ole veden saanti ja sen ruiskuttaminen, vaan sen poistaminen pesun jälkeen. Kamflex on siitä ikävä pestä, että kamman sisään jää vettä. Kuran valuminen uudelleen merkintöjen päälle on myös ongelma. Kiitoratojen kuivaksessa käytettyjä pesu/imuriautoja on kokeiltu, mutta ne ovat hitaita. Niillä saavutettiin kuitenkin parhain tulos. Auton imuri on koko auton levyinen.

Pesua on harkittu myös kuumamassamerkintöjen nopeutettuun elvyttämiseen. Tarkoituksena on aiheuttaa nopeutettu kuluminen, jolloin lasihelmet tulevat esille ja merkintää pysyy käyttämään pitempään ilman uudelleenmerkintää.

Merkintöjen suhde liikennemääriin ja liikenteen laatuun

Vielä toistaiseksi liikenteen laatu ei ole ollut merkintöjen tekoa ja suunnittelua ohjaavana tekijänä. Liikennemääriin on otettu kantaa jo useimmissa ohjeissa. Merkinnän paksuuden toteutukset ovat olleet suoraan riippuvaisia liikenteen kuluttavasta vaikutuksesta. Päinvastaisiakin esimerkkejä on.

Komponenttisovellusten soveltuvuudesta samalla tavalla kuin seuraava taulukko on esitetty kuumamassojen osalta, ei valitettavasti ole saatavilla. Taulukosta voi suoraan nähdä merkintöjen ja liikennemäärien suhde:

Tietyyppi, Leveys	Liikenne- määrä	MATERIAALILAATU							
		Kesikiviiva		Reunaviiva					
		3 mm	1,5 mm Spray	10 cm		Oikea 20 cm			Vasen 20 cm
				3 mm	1 mm Spray	3 mm	1,5 mm Spray	1 mm Spray	1 mm Spray
MT & 4 kaistaa	>26.000								
	12.000 ... 26.000								
	<12.000								
ML	Kaikki								
≥9,5 m	Kaikki								
7,5 ... 9,4 m	≥2.000								
	0 ... 1.999								
6,0 ... 7,4 m	≥1.000								
	0 ... 999								
≤5,9 m	Kaikki								

Merkintöjen epäsuora ohjausvaikutus

Suoritettujen haastattelujen perusteella tiemarkintöjen epäsuoraa ohjausvaikutusta ei ole havaittu tai tunnistettu.

Seuraavalla sivulla oleva kuva on Espanjasta. Siinä olevat tiemarkinnat edustavat uusinta ajattelutapaa taajamaliikennenympäristön rakentamisessa ja visualisoimisessa.



Copyright Kaisa Rydberg

Teknologinen kehitys

Nykyinen tilanne ja kehityksen suuntaviivat

Euroopassa ja USA:ssa suoritetuista haastatteluista saa sen käsityksen, että tiemarkintäala on ollut 1980-luvun lopulta lähtien alati kiihtyvässä muutoksessa. Syitä muutokseen on useita: kansallisissa tielaitoksissa organisaatiot ovat suurten muutosten alla, joissa osia toiminnoista ja prosesseista on asetettu uuteen valoon - jopa kyseenalaistettu ja eriytetty yhtiöimällä. Yhtenä syynä tielaitosten muutokseen on määrärahojen uusjako ja toiminnan tehostaminen. Teknologialla tuskin on tässä muutoksessa suurtakaan roolia. Sitävastoin johtamismenetelmien kehityksellä on ollut hyvin merkittävä osuus.

Ympäristömääräykset ja CEN-työskentely on ehkä merkittävimmät muutosten aiheuttajat. Nämä yhdessä heijastuvat yhtä aikaa sekä alan yrityksiin että tielaitoksiin.

USA:ssa ala ei ole edennyt samassa tahdissa Euroopan kanssa ja on kehityksestä voimakkaasti jäljessä ja pysyy. Ongelmaksi USA:n tilanteen tarkastelun tekee se, että maa ei ole yhtenäinen - ei edes osavaltioittain. Siellä ei ole kansallisia tavoitteita. Joissakin osavaltioissa pyritään yhtenäisyyteen, mutta tulos saattaa olla heikko monesta syystä. Suurimmissa osavaltioissa on ristikkäisvetoa tai osavaltion koosta johtuen kommunikaatio ei toimi. Trendeistä voidaan kuitenkin tehdä joitakin johtopäätöksiä: Tiemarkinnat on oivallettu merkityksellisiksi liikenneturvallisuuden kannalta, sillä esim. Floridassa on jo usean vuoden ajan käytetty noin 20 cm:n reunaviivaa ja tämän perusteella muissakin osavaltioissa ollaan siirtymässä leveämmän viivan käyttöön. Wisconsinissa 1992 tehtiin erittäin merkittävä ja laaja kenttätutkimus tiemarkintöjen merkityksestä ajomukavuuteen. Tekijänä olivat viranomaiset ja se antaa tutkimukselle painoarvoa.

USA:ssa ympäristötietoisuus on kasvanut nopea sti. Tuotekehitys on voimakasta ja innovatiivista. Uusia materiaaleja testataan ja tielaitosyhtymät sekä ohjaavat tuotekehitystä että kehittävät itse materiaaleja.

Yksi syy miksi tiemarkinnat ovat kehittymättömiä ja standardit sekä laatuluokitukset puuttuvat, johtuu vastuulainsäädännöstä. Kenenkään tai minkään organisaation talous ei kestä liikenneonnettomuudesta johtuvia vastuukorvauksia, jotka standardit aiheuttaisivat, kun syyllistä vaaditaan maksamaan esim. kuolemasta koituneet vahingot. Ne kun ovat jo nyt korkeat. Kuvaavaa tilanteelle on se, että paluuheijatavuusmittarivalmistajien suurin asiakasryhmä ovat asianajajat.

Yhteistä eurooppalaiselle ja amerikkalaiselle merkintäurakointialalle on sen keskittymättömyys, paikallisuus ja pääomasidonnaisuus. Ala ei ole erityisen kannattava ja siksi tuotekehitys on riippuvainen lähinnä yksilötasolla tapahtuvasta keksimisestä ja kokeilusta. Laitteistoinvestoinnit vaativat ponnisteluja. Menetelmätietoisuus puuttuu ja käytetyn teknologian taso yleisesti ottaen on matalalla. Amerikkaista urakointialaa rasittaa korkeat vastuuvakuutusmaksut. Tilaajaosapuoli on tietoinen tästä ja hyväksyy hinnan muodostusrakenteen.

Materiaaleja (helmet, teipit, massat ja maalit) valmistavat yritykset ovat joko pieniä tai suuria. Keskikokoinen teollisuus puuttuu miltei kokonaan. Poikkeuksena tiemarkintänastoja tuottavat yritykset. Siellä kokoluokka poikkeaa muista. On yksi

iso, mutta muihin materiaalivalmistajiin verrattuna sekin on keskikokoinen. Muuten on paljon pieniä yrityksiä, joiden markkinaosuudet jäävät yhteensä vain noin 20 ... 40%:iin maailmanlaajuisesti. Mutta muiden materiaalivalmistajien kohdalla näyttää siltä, että pienet materiaalivalmistajat menestyvät paikallisuutensa takia ja isot laajan jakeluverkkonsa ja tuote/laitteistokytkeäntöjen takia. Paikallisuus tai pienenus ei kuitenkaan merkitse joustavuutta asiakaskeskeisyyden kannalta; ei ainakaan tuotetasolla, mutta palvelunopeudessa ehkä. Reseptiikan kehittyessä alaan sitoutuu enenevässä määrin korkempaa teknologiaa. 2- ja 3-komponenttituotteet edustavat jo korkeaa teknologiaa. Eurooppalainen maalliteollisuus on joutumassa vaikeuksiin uusien myrkkymääräysten takia. Maalien raaka-aineista moni joutuu käyttökieltoon ja korvaavia komponentteja ei ole näkyvissä tai jos on, niin niiden toimintakyvystä ei ole tietoa.

Lasihelmitellisuuden on USA:ssa käynnissä epäterve kilpailu. Siellä tilanne on aina Potters-Ballotini vastaan joku muu. Euroopassa tilanne on hieman rauhallisempi. Yleisesti maailmassa on reilusti ylikapasiteettia. Ala ei edusta korkeaa teknologiaa ja ala luonnehtii itseänsä romun kerääjäksi. Tuotekehitys ei ole tuottanut jonkin verran tulosta. Ainoa kohta, jossa parannusta voi materiaaliessa tapahtua, on tehdä helmet puhtaimmista raaka-aineista. Johtamismenetelmien kehityksen ja laatustandardien ansiosta tuote- ja toiminnan laatu on hieman parantunut. Muuten kyseessä on kuin pieni riittäinen suku, joiden käytännössä kaikilla jäsenillä on sama kantaäiti: Potters-Ballotini.

Euroopassa ja USA:ssa koneiden ja siihen liittyvien instrumenttien (pistoolit ja pumput) rakentaminen ei ole keskittynyt. Konepajojen koko vaihtelee. Suuria mullistuksia tai keksintöjä ei ole viimeaikoina tapahtunut. Laitteistokehitys on jatkuvaa ja rauhallista. Alalla esiintyy joitakin korkean teknologian tuotteita, esimerkkinä spray-massa- sekä 2- ja 3-komponenttikoneet. Muutoin koneet ja materiaalit ovat alati enenevässä määrin toisistaan riippuvaisia integroituja järjestelmiä. Näitä ratkaisuja voidaan kutsua sovelluksiksi.

Optisessa mittauksessa puolella laitteisto- ja menetelmäkehitys on ollut voimakasta. Mittauksen kehityksen suoranaisena esteenä on kuitenkin totaalinen tiemerikintäalan perustutkimuksen puute. Toisen ongelma-alueen muodostaa se, että subjektiivisesti laadullisia arvoja yritetään mahduttaa analogiseen malliin määrällisiksi suureiksi. Yksinkertaisena esimerkkinä on näkemistä vastaavien mittareiden rakentaminen. Optisia laitteita on ollut jo pitkään ja esim. paluuheijastuvuutta on mitattu. Ongelma ei ole tässä, vaan uusien laadullisten arvojen todentamisessa. Toisaalta vanhoja oppeja on kyseenalaistettu sitä mukaa, kun näön tutkimus on edistynyt. On odotettavissa, että konenäkö ja sumea logiikka sekä niihin liittyvät asiantuntijajärjestelmät yhdessä voivat yhdessä antaa ratkaisevan panoksen optisen mittauksen läpimurrolle.

Kaikessa mittauksessa menetelmäongelmat on suurin ryhmä. Ei olla vielä päästy yhteisymmärrykseen mm. siitä, mikä laboratoriomenetelmä korreloi parhaiten kentällä toteutuvien ilmiöiden kanssa. Toisena erittäin vaikeana ongelmaryhmänä on mittareiden ja etenkin laboratoriolaitteiston kalibrointimenetelmät. Joko niitä ei ole tai sitten ne ovat vaillinaiset, erittäin hankalat tai sitten kalibrointiketju katkeaa. Tästä esimerkkinä mittakärkien spesifiakaatioiden puute. Kolmas ongelma on laitteiston sopimattomuus kenttämittauksiin.

Ongelmana uusien materiaalien, menetelmien, laitteistojen ja mittausinstrumenttien käyttöönnotossa on ilmennyt henkilökohtaista vastarintaa.

Yleensä alaa värittävät voimakkaasti henkilökohtaiset mielipiteet sekä pelko omasta asemasta organisaation sisällä ja liiketoimintasuhteissa. Vastarinta johtunee organisatoorisista, koulutuksellisista, jne. syistä.

Merkkejä asiantilan paranemisesta kuitenkin on. Tanska on ilmeisesti tiemerkintöjen käytössä maailmassa johtavassa asemassa. Ruotsissa organisaatiomalli tukee tiemerkintöjen edistämistä ja siellä tehdään erittäin innovatiivisia kokeita liikennepsykologian alueella, jossa tiemerkintöjen käyttö lähtee aivan uusilta urilta. Norjassa, Hollannissa, Englannissa ja Espanjassa tielaitoksen puitteissa tietoisuus- ja koulutustasoa ollaan kohentamassa. Näissä maissa myös organisatoriset muutokset tukevat asioiden kehitystä

Työ tiemerkintöjen harmonisoimiseksi Euroopassa tulee viemään vielä pitkän aikaa. Tiemerkinnät kehittyvät voimakkaasti koko ajan. Liuotinmaalien vaihtuminen liuottieettomiin materiaaleihin ja jäljelle jäävien maalien vaihtuminen vähemmän myrkyllisiksi, on johtava kehityksen suunta lähimpien vuosien ajan tulevalle vuosituhannele saakka. Muutos saattaa haijastua laitteistoon, mutta varmaankin sitä enemmän menetelmiin, jotka eivät ole välittömässä yhteydessä operatiiviseen levitystuotantoon.

Toinen syy miksi tiemerkinnät tulevat kehittymään, on tarve löytää korvaavia ja tehokkaita menetelmiä liikenneturvallisuuden ylläpitämiseksi. On todettu, että vain visuaalisesti voimakkaat ja kuuluvat tiemerkinnät yltävät talvikunnossapittoa vastaavaan turvallisuustehokkuuteen. Toinen syy on hyvin merkittävä määrärahojen pieneneminen.

Tilanne Suomessa

Suomessa ala on länsinaapureihin verrattuna kehityksestä jäljessä. Tanska on johtava maa, mutta Ruotsi ja Norja ovat kuromassa etumatkaa kiinni. Suomessa virallista keskustelua poliittisissa- ja liikenneturvallisuutta edistävässä piireissä ei ole edes käynnistetty. Tiemerkintäkeskustelu liikkuu vielä voimakkaasti materiaalikeskeisissä kysymyksissä eikä merkintöjen käytössä ja menetelmien kehittämisessä. Urakoitsijoiden piirissä on tiedostettu menetelmäkehityksen tarpeellisuus. Teollisuus toimii asiakasjohteisesti.

Uudet laatuvaatimukset on hyvä pyrkimys parempaan. Ongelmaksi muodostuvat esim. mittauskaluston ja -menetelmien puutteellisuus. Tiedon keräys sen käsittelystä analysointiin on järjestämättä. Tämä tilanne ei kuitenkaan poikkea muista naapurimaista. Suurta datamassaa, josta kokemuksia voisi kerätä ja selittää tai edes seurata ilmiöitä, ei ole. Se, että tiemerkintä ei kestä edes yhtä kautta, on yksi syy mikä ei motivoi seurannan järjestämiseen ja analyttisien tiedonkeruumenetelmien kehittämiseen. Se on koettu jopa tiedonkeruun esteeksi. Menetelmäpuolen kehittymättömyys on koko alaa vaivaava globaali ongelma. Se on niin vakava, että materiaalituotantosektori ei voi saada koko toiminnan kattavaa ISO9000 laatuluokitusta. Menetelmät ovat kehittyneet tavallaan itsestään 70-luvulla pitkän käytännön perusteella ja se ei ole riittävä peruste menetelmien todentamiseen ja tunnistamiseen. Instrumenttien kalibrointiketju katkeaa. Mittareiden mittaustarkkuus voi olla karkeampi, kuin asetetut toleranssit. Tästä

esimerkkinä Tröger-laite, joka sisäisestikin voi heittää 20% eli virhe ei ole toistettavissa. Siinä hyvän ja huonon arvon välille ei saada tilastollisesti merkittävää eroa. Se, että yritys ei saa ISO9000 laatuluokitusta, ei merkitse kuitenkaan, etteikö yritys voisi toimia laatu järjestelmien mukaan ja parantaa jatkuvasti toimintaansa.

Virallista koulutusta tai pätevytyymiseen tähtäävää valmennusta ei ole tielaitoksen eikä kunnallisella puolella, eikä siitä ole virallisesti puhuttukaan. Muutenkaan koulutusta ei ole järjestetty millekään tasolle. Materiaalivalmistajien tilaisuuksien lisäksi valtakunnalliset tiemerkintäpäivät ovat olleet alan ainoa foorumi ja paikka tiedon vaihtamisessa. Tilaisuuksiin on osallistunut urakoitsijoita, materiaalitoimittajia ja tielaitoksen suorittavan portaan edustajia, mutta ei määrärahoista päättäjiä. Toivottavasti foorumi laajenee, sillä julkiselle foorumille on selvästi tarvetta. Yliopistotasolla ei käytännössä opeteta mitään, vaikka kurssien pitämiseen olisi mahdollisuuksia olemassa olevien opetus suunnitelmien puitteissa.

Suomesta puuttuu kokonaan tiemerkintäalan etujärjestö. Tällaiset järjestöt toimivat muissa Pohjoismaissa. Niiden tehtävänä on edustaa virallisesti toimittajaosapuolia tilaajaosapuoliin päin kehittämällä toimintatapoja ja luomalla sääntöjä. Niiden toiminta on ollut mallikelpoista ja niiden toimintasäännöt kieltävät kaupallisten etujen ajamisen. Suomessa yksittäiset alan edustajat uskovat vahvasti, että keskinäistä luottamusta täällä alan edustajien välillä ei koskaan saavuteta. Se koetaan erittäin suureksi esteeksi, jota myös tilaajaosapuoli pahoittelee.

Alalla tehtiin kuitenkin huomattavia kalustoinvestointeja 1992 ja 1993 sekä yksityisellä- että julkisella sektorilla. Spray-konekanta on aivan uutta.

Lainsäädännöllisellä puolella Suomessa on vielä paljon tekemistä, sillä kampaprofiloidut merkinnät ovat kiellettyjä. Tiemerkintöjen tulee olla yhtenäisiä ja tulkinnan mukaan yhtenäiseltä näyttävä merkintä ei ole yhtenäinen, joten se on lainvastainen.

Tielaitoksen organisaatiomuutos 1993 alussa on aiheuttanut ongelmia tiemerkintäalan yhteistoiminnassa.

Läntisissä naapurimaissamme uskotaan kuitenkin vahvasti, että Suomessa tiemerkintöjen laatutasoa voidaan lähteä nostamaan ja että keskustelu viriää. Syy uskoon perustuu neljään seikkaan:

1. Meillä on jo nyt suhteellisen hyvät merkinnät - mitä värihin tulee - joskin testit ja laatuvaatimukset ovat päässeet vinouttamaan pahasti tuotelaatutasoa.
2. CEN-työskentely on muodostanut hyvän pohjan merkintöjen toiminnallisuuden ymmärtämistä varten.
3. Yhteisen pohjoismaisen yhteisymmärryksen saavuttaminen CEN-työskentelyssä on ollut helppoa.

Suunnitteluvälineet ja -menetelmät

Otsikon - *Suunnitteluvälineet ja -menetelmät* - aihetta on käsitelty liitteessä 1. Se on tarkoitettu ylemmälle keskijohdolle ja siitä ylöspäin. Vaikka jostakin saattaa tuntua, että käsiteltävät aiheet menevät yksityiskohtaisuuksiin, ovat ne kuitenkin esitetty hyvin karkeasti. Tarkoituksena on antaa käsitys, että laatu ei ole vain puheita, vaan korkeaa teknologiaa, joka vaatii korkeaa koulutustasoa. Nämä ovat asioita, joita ei opeteta missään Suomen korkeakouluista.

Pyrkimyksenä on valoittaa laatua riittävän laajasti, että päätöksentekijöillä on mahdollisuus saada käsitys mihin laadulla tähdätään ja mihin se pystyy.

Kunnossapito

Kun yksi tai useampi tiemerikinnän ominaisuus katoaa, merikintä tulee uusia. Kun aikaisemmin merikinnän "toimivuuden" määritteli se, että oliko sitä tiessä vai ei, on tilanne nyt muuttunut miltei päinvastaiseksi: merikintää on olemassa vielä paljon, kun se on jo uusittava. Tyypillisin esimerkki on paksut kuumamassat, joiden paluuehistuvuus on kadonnut asfalttia vastaavalle tasolle. Päivällä merikinnät näkyvät erittäin selvästi ja levitettä on vielä paljon. Lasihelmiä ei vain enää ole. Kunnossapidon kannalta tilanne on tällöin vaikea työn suunnittelun, siihen varattavien kone- ja miesresurssien sekä rahoituksen kannalta. On ilmeisen selvää, että perinteisillä työmenetelmillä ei tehtävää voida suorittaa ainakaan järkevällä tavalla.

Merikintöjen tekniset vaatimukset ovat siirtyneet korkean teknologian aikakauteen. Asiat ovat monimutkaistuneet. Kun paluuehijastuvuutta ja muita ominaisuuksia arvostetaan teknisten suureiden kautta, ei ihmissilmä pysty millään arvioimaan merikinnän toiminnallista tasoa. Silmä ei ole mittari. Ongelmaksi tuleekin tiedon kerääminen, sen käsittely, ymmärtäminen ja tulkitseminen.

Tiedon keräämisessä on omat ongelmansa, joista yksi on sen suuri määrä. Tietoa on pystyttävä ymmärtämään ja käsittelemään. On pystyttävä tekemään johtopäätökset ja toimimaan niiden perusteella. Maailma on additiivinen - yhteenlaskeutuva - ja logaritmisen. Näiden lisäksi myös asioiden monisäikeisyys vie ihmiseltä mahdollisuuden päästä järkeilyn kautta lopputulokseen ja asioiden kokonaisuuksien hahmottamiseen. Ainoa mahdollisuus luonnon ja suurten tietomassojen ymmärtämiseen on tilastotiede.

Tilastotieteellisten menetelmien käyttö teiden kunnossapidossa ei ole uutta, mutta uutta varmaankin on niiden vieminen operatiiviseen toimintaan. Tilastolliset työmenetelmät voidaan ulottaa materiaalien tuotekehitykseen ja maalaus koneiden säätämiseen teollisen koesuunnittelun avulla.

Markovin päätöksentekomalli kunnossapidossa

Palvelutason määrittämiseksi ja tavoitteisiin pääsemiseksi yleisesti hyväksyttyinä tapana on käyttää Markovin päätöksentekomallia. Malli on varsin globaali ajattelutavoi ltaan ja siksi se soveltuu teiden kunnossapitoon varsin hyvin. Toinen syy mallin käyttöön on sen mahdollisuus käsitellä laadullisia suureita, joihin muut mallit eivät ole pystyneet. Suomen Tielaitos käyttää Markovin mallia päällystettyjen teiden kunnossapidon strategiseen suunnitteluun. Se soveltuu

lyhyen, keskipitkän ja pitkä aikavälin suunnittelun työkaluksi. Mallin avulla voidaan ohjata tarvittavat määrärahat budjettiraamien puitteissa kunnossapidon kriittisimpiin kohtiin ja sillä voidaan simuloida tilanteita mihin joudutaan vaihtoehtoisella kohdemäärärahojen jaolla. Mallin hyödyntäminen on erittäin pitkällä ja Tielaitos on johtava maailmassa Markovin mallin hyödyntäjä.

Markovin malli edellyttää ensinnä suurta tietomassaa vallitsevasta tilanteesta keskipitkältä aikaväliltä. Tietoa kerätään analyyttisesti 2 ... 3 vuotta. Tiedon perusteella rakentuu rappeutumismalli, johon vaihtoehtolaskelmat perustuvat. Mallissa käytetään todennäköistä rappeutumismallia, jonka tiedot perustuu todellisuudesta kerättyyn aineistoon.

Alkutyö on erittäin suuri, mutta hyöty on myös sen mukainen. Yleisimmin malli kytketään tierekisteriin, josta saadaan päällystetiedot ja -määrät sekä liikennemäärät. Malliin kuvataan erilaisia olosuhteita. Ilmasto-olosuhteita verrataan tierekisteriin alueellisesti, maantieteellisesti ja tieluokittain.

Suoritevaatimukset edellyttävät laatustandardien kuvaamista. Ne kytketään edellä kuvattuihin olosuhteisiin, jotka perustuvat analyyttisin keräilymenetelmin saatuun tietoon, jota tulee jatkuvasti automaattisilta tiesääasemilta. Saatua tietoa käytetään alueellisen toiminnan suunnittelemiseksi, koska eri ilmasto-olosuhdeympäristöt edellyttävät toisistaan poikkeavaa käytännöntoteutusta. Vastaavasti toimenpiteet poikkeavat suuresti toisistaan. Esimerkiksi tiemerkinntä pesu on aivan eri toimenpide kuin paikkakorjaus.

Mallissa määritellään mitkä ovat sallittujen ja ei-sallittujen tekijöiden raja-arvot. Tieto kerätään binääritekniikalla. Näin saadaan vaihtoehtomatriisi, joiden puitteissa vaihtoehtolaskelmat suoritetaan. Kullakin vaihtoehdolla on suhteutettu painoarvo, joka perustuu subjektiiviseen tietoon. Tämä voi esiintyä muodossa: hyvä, kelvollinen, huono, sietämätön.

Kustannuselementit, kuten henkilö- ja konekustannukset, korot ja annuiteetit kuvataan. Tätä täsmälleen samaa hinnan arvostusmallia käytetään myös tiemerkinntä hyöty / laatu -suhteen määrittämiseksi.

Laadullisten tekijöiden asettamisessa käytetään analyyttisin- että subjektiivisin menetelmin saatuja tietoja. Asiantuntijalausuntoja käytetään subjektiivisten arvojen asettamisessa. Subjektiivisen tiedon keräämisessä on oltava erittäin huolellinen ja keräämismenetelmä on suunniteltava erittäin tarkoin, sillä mallin uskottavuus perustuu hyvin paljon subjektiivisen tiedon luotettavuuteen ja sen laajuuteen. Tässä mahdolliset virheet ovat erittäin ratkaisevia. Subjektiivisuuteen perustuvien laadullisten tekijöiden keskinäiset painoarvot lasketaan ja saadaan laadulliset kynnsarvot sekä kynnsarvojen hinnat.

Malli käyttää nelitasoista hierarkiaa, joista ensimmäisessä käsitellään turvallisuutta, esteettisyyttä, käyttäjämukavuutta ja tieinvestointien kestävyyttä. Toinen hierakiataso rakentaa jokaisen edellisen elementin kanssa vertailumatriisin. Kolmas taso laajentaa matriisia ja neljäs käsittelee vaihtoehtoja esim. seuraavasti: onko liikenneturvallisuuden kannalta merkityksekkäämpää hyvin heijastavat tiemerkinntät tietyllä tieosuudella kuin huonot ja kuinka paljon. Tällöin malliin on määritelty liikenneonnettomuudessa kuolleen henkilön kansantaloudelle koituva menetys.

Vaikka Markovin malli tuntuu raskaalta ja sitä yleisesti käytetään ylimmän johdon strategisena työrukkasena, on se erittäin hyvä työkalu myös paikalliseen työhön. Laitteistoinvestoinnit ovat käytännössä merkityksettömät, koska malli toimii tavallisessa PC-työasemassa. Yhtenä edellytyksenä järjestelmän käyttöönotolle on koko maan kattava tiemarkintärekisteri, jolla on yhteys tierekisteriin. Toisena on analyttisin menetelmin tiemarkinnöistä kerättävän tiedon objektiivisuus. Tätä kirjoitettaessa asia ei valitettavasti ole kunnolla hahmottunut kokonaisuutena vielä missään maassa. Ongelmina ovat organisaatioiden toiminnan laatu, kokonaisuuksien hahmottumattomuus päättävissä elimissä, tiedon keräilylaitteistojen kehittymättömyys ja standardien puutteellisuus sekä menetelmien puutteellisuus. Määrärahojen puute voi olla yksi syy, mutta se ei ole päällimmäisin.

Uuden teknologian vaikutus johtamiseen ja toteutukseen

Liitteessä 2 on käsitelty uuden teknologian vaikutusta syvällisesti yleensä ja erityisesti tiemarkintäalan johtamiseen ja toteutukseen. Siellä kuvataan esim. kentällä esiinvienevien ongelmien ratkaisutapoja.

Taloudelliset vaikutukset

Mitä kustannuksia teknologinen kehitys tuo tullessaan, on vaikea sanoa suoralta kädeltä. Ensinnäkin on selvitettävä mitä kustannuksilla tarkoitetaan ja mitkä niistä tulee nähdä investointeina ja myöhemmin tuloutuvina kustannussäästöinä.

Ilmiselvää on, että jos perinteistä tapaa toimia ei muuteta, rahankäyttö lisääntyy ilman vastaavuusperiaatetta. Jo nyt tiemarkintöihin käytetään suuria summia, että niiden kohdalla rupeaa suurten lukujen säännöt toimimaan. Optimoinnilla saadaan helposti kymmenyksen muutos ilman, että tehokkuus ja laatu laskevat. Kaikki on käytännössä kiinni johtamismenetelmistä ja käytettävissä olevista menetelmätyökaluista.

Jos optimointia ei tehdä, toiminnalliset laatutavoitteet nostavat merkintöjen määrää ainakin 30% ... 40% kahtena vuotena. Tiemarkintäala on ainoa rakennusala, jonka volyymi kasvaa vuosittain. Volyymin kasvu on jo useana vuotena niin suuri, ettei juuri mikään ala ole pystynyt siihen. Optimointi ei laske volyymiä. Siinä käytetään resursseja paremmin hyväksi.

Materiaalit

Linjamerkintä

Maalit

Vesiohenteiset

USA:ssa vesiohenteisten maalien kehitys lähti käyntiin heinäkuussa 1977, jolloin Kalifornian ilmantarkkailuvirasto otti jyrkän kannan haihtuviin hiilivetyihin. Tiemerikintämaalien liuotinpäästöjä tuli laskea. Syyskuussa 1982 uusien tiukkojen säädösten tuli astua voimaan, mutta toimivia sovelluksia ei ollut, joten jatkoaikaa myönnettiin tasan kahdeksi vuodeksi. 1984 astui sitten voimaan säännös 442, jonka mukaan tiemaaleista vapautuvia hiilivetyjä sai korkeintaan päästä 272 kg/vrk (=600 lb/vrk). Nykyään eteläläisessä Kaliforniassa kaikki maalimerkinnot ovat vesiohenteisia, mutta edelleenkin vesiohenteisen maalin hinta on liuotinmaaleja korkeampi.

Tie vesiohenteisten käyttönotossa ei ole ollut tasainen. Kalifornian tielaitos on ollut tukemassa kehityötä. Se on asettanut seuraavat vaatimukset, jotka on sovellettavissa muuallakin:

- Vaihtoehtoisuus osoitettavissa
- Voidaan ruiskuttaa esilämmitettynä tai lämmittämättömänä riippuen kulloisesta laitteistosta ja säästä
- Vastaava tai parempi toiminnallinen ikä saavutettava
- Liuotin ei saa haista voimakkaasti ja hengityshaitat oltava alhaiset
- Turvallisemmat levitysominaisuudet
- Alhaisemmat kuljetus ja käsittelyriskit

Euroopassa vesiohenteisten maalien tutkimus ja kehitystyö on vuodesta 1986 ollut jatkuva. Vuonna 1988 alkoi tapahtua ja 1990 lähtien on ollut tosi vilkasta, kun uusia tuotteita on lanseerattu markkinoille. Ensisijaisena ongelmana vesiohenteisten maalien huonoon menestymiseen ovat johtuneet liuotinmaaleja korkeammista hinnoista ja pitkistä kuivumisajoista. Hiljakkoin markkinoille on tullut ainakin kaksi ns. nopeasti kuivuvaa maalia, joiden kuivumisajat ovat todella lyhyitä.

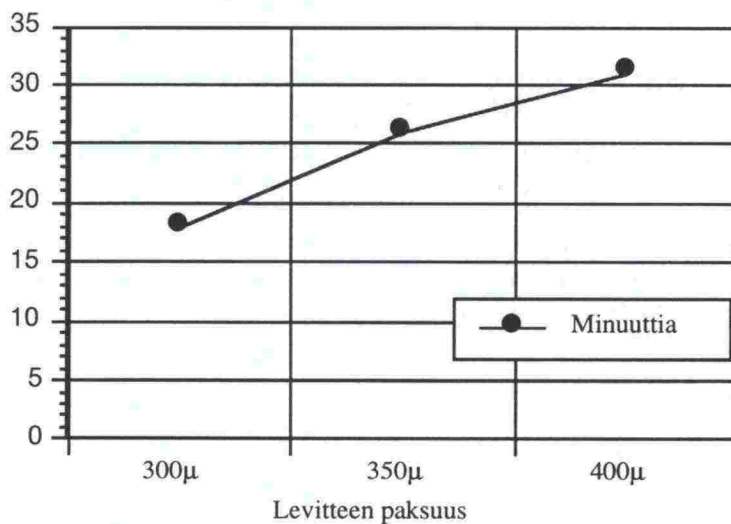
Riippumatta missä kehitystä on tapahtunut, voidaan yleisesti sanoa, että vesiohenteiset maalit eivät ole antaneet muuta kuin mahdollisuuden parantaa ilman laatua.

Perinteisiä sideaineita on useampia, kuten esim. alkydejä, kloorikautsuja (chlorinated rubber) ja akryyleja. Kloorattuja hiilivetyjä on erittäin paljon ja ne, joita käytetään maaleissa, ovat kiinteitä kumimaisia aineita. Kovettuessaan ne muodotavat yhtenäisen pinnan. Vaaraa ympäristölle niistä ei ole. Maaleissa käytettävät akryylit ovat tyydytetyjä ja siksi ne eivät ole reaktiivisia.

Maalien kuivuminen perustuu dispersioon. Siinä veden on ensin haihduttava ennenkuin sideaine pystyy yhdistymään ja muodostamaan kalvon. Siksi perinteiset vesiohenteiset maalit kuivuvat hitaasti. Haihtumista ei voi millään nopeuttaa. Nyrkkisääntönä on, että ilman suhteellinen kosteus ei saa olla 70% korkeampi, jotta

kuivuminen tapahtuisi kohtuullisessa ajassa. 80%:n suhteellisen kosteuden vallitessa merkintää ei saa tehdä. Ilman tyyneys haittaa haihtumista.

Uusimman sukupolven vesiohenteisissa maaleissa käytetään nopeasti kuivuvaa sideainetta. Nämäkin maalit mitä ilmeisimmin perustuvat dispersioon, mutta täyttä varmuutta ei ole. Sideaineet on patentoitu ja kukaan ei kerro millä mekanismilla käytännössä haihtuminen ja kalvon syntyminen tapahtuu. Näissä maaleissa sideainekalvo muodostuu vesikalvon päälle ja siinä piilee näiden aineiden salaisuus. Näitä nopeasti kuivuvien maalien sideainetoimittajia on tällä hetkellä ainakin kaksi.



Edellistä sukupolvea edustavan dispersiomaalin kuivumisaika paksuuden suhteessa.

Vesiohenteiset maalit tarttuvat periaatteessa tien pintaan yhtä hyvin kuin liuotinmaalitkin. Koska vedellä ei ole likakalvoa liuottavaa ominaisuutta, on vesiohenteinen maali herkempi epäpuhtaalle pinnalle.

Silmämääräinen kulutuskestävyys on samaa tasoa tai hieman parempaa kuin liuotinmaaleillakin kuten myös helmien sitomiskyky. Paluuheijastuvuus on joissakin tapauksissa todettu valkoisilla 40% ja keltaisilla 25% liuotinmaaleja paremmaksi.

Nopeasti kuivuvien maalien eräänlaisena ongelmana on se, että niitä ei voi levittää ohuelti, vaan levitteen on oltava vähintään tietyn paksuinen. Ne ruostuttavat. Uuden levitteen päälle ei saa sataa 10 ... 12 tuntiin ja jatkuvaa sadetta merkintä sietää vasta kolmantena vuorokautena. Kun otetaan huomioon ilman suhteellisen kosteuden rajoite ja sateen sietokyky, jää merkintäkausi vesiohenteisilla maaleilla tavallista lyhyemmäksi.

Tuoteominaisuudet kehittyvät jatkuvasti, joten vuosittaiset parannukset ja muutokset ovat yleensä merkittäviä.

Ruiskutusominaisuus vesiohenteisilla on aina hyvä, sillä ne eivät sumua ja pölyä. Nopeasti kuivuvat maalit ovat hankalia käsitellä. Kuivunut maali on siinä mihin se on joutunut ja pysyy myös. Sitä ei liuota mikään, joten esim. pistoolit on puhdistettava mekaanisesti. Jos maalitankkissa ja kanavistossa on edes pieniä

jäänteitä liuotinmaalia, reagoi vesiohenteinen maali jotakuinkin pian. Seuraukset ovat ikäviä. Maali nimittäin hyytelöityy kumimaiseksi massaksi. Koko laitteisto on purettava ja puhdistaminen on tehtävä mekaanisesti. Huolellisella työskentelyllä ongelmat voidaan estää.

Varastointikestävyys on riittävän hyvä. Maali kestää yhden maalauskauden ihan hyvin avaamattomassa säiliössä. Mutta jos säiliö avataan ja kaikkea maalia ei käytetä kerralla, syntyy pintaan nahka sääolosuhteista riippuen. Joissakin tapauksissa nahkautumisen voi ehkäistä varovasti pintaan laskettavalla vedellä.

Levittämisessä vesiohenteiset maalit eivät ole yhtä yksinkertaisia kuin liuotinmaalit. Ongelman muodostaa vanhan maalauslaitteiston muuntaminen vesiohenteiselle maalille. Ensinnäkin maalitankin tulee olla joko pinnoitettu niin, ettei ruostumista pääse tapahtumaan tai sitten sen tulee olla valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Tankin ja maaliruiskun välillä ei saa olla ruostuvia osia, kuten tiivisteitä, jousia tms. Pääsääntöisesti liuotinmaaliruiskut soveltuvat, koska ne yleensä ovat haponkestäviä.

Turvallisuus työn ja materiaalitointojen kannalta paranee liuotinpohjaisiin maaleihin nähden. Palonarkojen liuottimien varastoinnin erikoisjärjestelyistä pääsee myös eroon.

Liuotinohenteiset

Koska liuotinohenteisten maalien käyttö pienenee murto-osaan nykyisestä tai loppuu kokonaan, käsitellään aihetta suppeasti.

Maaleissa käytettäviä sideaineita on useampia, mutta yleisimmät taitanevat olla tyydytetyt alkydihartsit ja alkydihartsien ja kloorattujen hiilivetyjen (chlorinated rubber) yhdisteet. Kaikienkaikkiaan tiemaaleissa käytetään noin 10 erilaista ainetta, kuten täytteitä, nahoittumisenestoa ja väriaineita, joita ovat valkoisella titaanioksiidi ja keltaisella orgaaninen keltainen. Maalien kuiva-aineosuudet vaihtelevat 40 ... 60% ja loppu on liuotinta. Meillä Suomessa maalien kuiva-aineen osuus on oltava 60%. Sideaineesta riippuu suoraan minkälainen kulutuskestävyys maalilla on. Tämä koskee poikkeuksetta kaikkia maaleja.

Kun haihtuvien hiilivetyjen osuutta alettiin tietoisesti alentamaan, kehitettiin 80-luvun alussa maaleja, joiden kuiva-ainepitoisuus nostettiin 70 ... 77%:iin. Näitä kutsutaan High Solid -maaleiksi. Kuivumisajat ovat ratkaisevasti pitempiä verrattuna niihin, joiden kuiva-ainepitoisuudet olivat alhaisemmat. High Solid -maalien kuivuminen kestää esim. seuraavasti: märkäkalvon paksuus 300 μ ja 400 μ , aika 8 ja 14 minuuttia. Kuivumiseen vaikuttavat ilman, tien ja maalin läpötila sekä märkäkalvon paksuus. Tuulen nopeus edistää kuivumista.

Kuivuminen voidaan luokitella seuraavasti:

Välittömästi	<30	sekuntia
Hyvin nopeasti	30 ... 120	sekuntia
Nopeasti	2 ... 7	minuuttia
Perinteinen	>7	minuuttia

Kuivuminen voi tapahtua viidellä eri tavalla:

Liuotin haihtuu

Jäähtyy
 Hapettuu
 Katalyytti vaikuttaa (polymerisaatio)
 Jotkin ed. mainituista vaikuttavat yhdessä

Kun maali on ruiskutettu tien pintaan, saa se haihtua. Ohenteiden ja liuottimien osuus tiemaalin toiminnallisiin ominaisuuksiin on miltei olematon. Niiden tehtävä on helpottaa valmistusta, ruiskutusta ja likakalvon liuotusta. Liuottimen valinnalla on kuitenkin suuri osuus kuivumisaikaan. Seuraavassa liuottimet nopeusjärjestyksessä:

<u>Liuotin</u>	<u>Sekuntia</u>
Metyleenikloriidi	0,4
Asetooni	0,8
Hexaani	0,8
Betsooli	1,2
Metyylietyyli	1,5
Tolueeni	2,7
VM&P nafta	3,5
Xylooli	10,8
Tärpähti	15,5
Mineraalitisleet	33
Kerosiini	325

Kun puhutaan liuotteettomista maaleista, on niissä liuotinta kuitenkin 2 ... 5%, jopa vesiohenteisissa.

Levitysnopeuteen kuiva-aineen osuudella ei ole vaikutusta. Riippuen halutusta kalvopaksuudesta, painejärjestelmän kapasiteetista ja säätömahdollisuuksista, nopeus yleensä on 15 ... 30 km/h.

Kylmämassat

Yleistä

Kylmämassat ovat aineita, jotka kovettuvat eli polymerisoituvat lämmössä. Tässä kaksi ainetta tuodaan yhteen ja kemiallinen, lämpöä vapauttava reaktio käynnistyy. Reaktiota voidaan edistää kiihdyttimillä. Polymerisaation käynnistämiseksi halutulla lailla epokseissa käytetään kovetinta, polyestereissä ja akryyleissä katalyyttiä. Yleisesti kovetin ja katalyytti sekoitetaan surutta, vaikka kemiallisesti ne ovat kaksi eri asiaa. Käytännön kannalta sekaannus on täysin merkityksetön.

Kylmämassojen levitystavat vaihtelevat samoin kuin tuotteiden keskinäiset ominaisuudet. Siksi niitä voidaan verrata luotettavasti vain tuotetasolla toisiin täsmälleen samaa levitysmenetelmää ja -kalustoa käyttäviin ja kuivumisaikaluokkaa oleviin kylmämassoihin. Vanhan- ja uudensukupolven kylmämassat eivät ole verrannollisia keskenään. Poikittaisvertailuja muihin materiaaleihin voi suorittaa korkeintaan tuotekohtaisesti samaa levitystekniikkaa käyttäviin materiaaleihin. Käytännössä tämä on mahdotonta. Kylmämassojen tuote- ja varsinkin sovelluskohtaiset erot ovat paljon silmiinpistävämät kuin mitä esim. kuumamassoilla on, vaikka kyseessä olisikin saman toimittajan tietty hartsi. Kylmämassojen yleistettävyyys liuotinmaaleja ja kuumamassoja vastaavalle tasolle ei ole mahdollista. Perinteiseltä paremmuusvertailulta putoaa pohja pois ja tilalle astuu lopputuotteen toiminnallisuus ja taloudellisuus.

Kylmämassoihin luetaan kuuluvaksi ns. helmikovetteiset sekä 2- ja 3-komponenttimerikintäaineet. Lisäksi jatkuvasti kokeillaan muitakin aineita, kuten uretaania. Suuri osa kylmämassoissa käytettävistä hartseista on samoja, mitä käytetään kuumamassoissakin, mutta ovat eri olomuodossa. Hartsien lisäksi sideaineina käytetään monomeereja. Kylmä- ja kuumamassoissa käytettävien hartsien välillä on kolme eroa: kovettuakseen kylmämassassa tulee tapahtua kemiallinen reaktio - polymerisaatio; kuumamassan tulee jäähtyä. Kun kylmämassa on kovettunut, se pysyy aina siinä olomuodossa; kuumamassan voi sulattaa uudelleen ja se pehmenee samoissa sääolosuhteissa kuin asfalttikin. Kylmämassat ovat ennen polymerisaatiota kemiallisesti aktiivisia, kuumamassat eivät.

Kaikki kylmämassat ovat toteutukseltaan yksilöllisiä ratkaisuja. Nämä ovat sovelluksia, joissa massan ominaisuudet ja vaatimukset yhtyvät levityskoneen kokonaisratkaisussa. Ne sitovat käyttäjää enemmän tai vähemmän ja ovat teknisesti vaativampia verrattuna maalin ruiskutukseen tai kuumamassan nauhalevitykseen. Ruiskutus sinänsä ei ole ongelma, vaan sovellukseen sitoutunut teknologia ja sovellusympäristön ymmärtäminen ja sen hallinta.

Sitoutuminen on pienimillään silloin, kun perusmassaa varten tulee tietty nestemäisessä muodossa olevaa katalyyttiä ja levitys voi tapahtua maalikoneella, johon on tehty pieniä lisäyksiä ja muutoksia. Tämän tyyppiset ratkaisut mahdollistavat ruiskutusmateriaalin vaihtamisen toiseksi milloin vain. Laitteiston puhdistus riittää. Korkein sitoutumisaste on silloin, kun materiaali edellyttää täysin materiaaliin sitoutuneen laitteiston. Näissä tapauksissa laitteistoa ei voi laisinkaan muuttaa toista materiaalia varten. Sitoutumisaste vaikuttaa myös vaihtoehtoisten kylmämassojen hyödyntämiseen. Ongelma on koneen hankkijan ja sitä on lähdeittävä purkamaan katalyytin käsittelytekniikasta käsin. Vaarana on sitoutuminen yhteen materiaalitoimittajaan.

Kylmämassat ovat korkean teknologian tuotteita ja vaativat osaavan miehistön. Heidän tulee tuntea hyvin kone, materiaali, levitysolosuhteet ja näiden yhteisvaikutukset. Kylmämassat ovat herkkiä muutoksille, koska ne ovat kemiallisesti aktiivisia ja siksi jatkuvasti epävakassa tilassa. Jo tämä aiheuttaa käyttäjäkunnassa epävarmuutta. Sen lisäksi niissä käytetään kovan luokan myrkkyjä. Haihtuvia hiilivetyjä niissä on hyvin vähän, yleensä korkeintaan 2 ... 5%. Hajuhaitat ovat muita materiaaleja huomattavammat ja siksi se aiheuttaa miehistössä usein epävarmuutta työturvallisuuden suhteen. Jotkut saattavat ruveta voimaan pahoin hajun takia. Useissa tutkimuksissa on verrattu työskentelyolosuhteita eri merkintämateriaalien kanssa. Lopputuloksista on voinut havaita, että mikään materiaali ei ole toistaan parempi tai huonompi. Miehistön riski on riippuvainen siitä, kuinka hyvin noudattaa annettuja ohjeita ja että tekee työn oikein. Tämä on tullut kiistattomasti esille kaikista raporteista.

On ehkä syytä selvittää heti alkuunsa, että kylmämassoja voidaan levittää kuten perinteistä kuumamassaa tai maalia. Hämmennystä kylmämassojen ymmärtämisessä aiheuttaa kalustototeutusten kirjo ja monimutkaisuus. Materiaalit edellyttävät sitoutumista tiettyntyyppiseen laiteratkaisuun, joista on vaikea poiketa. Toteutusvaihtoehtojen määrä on siksi moninainen. Valitettavaa on, että laitetoteutuksesta on tullut myyntiargumentti, vaikka sen ei aina sitä tarvitsisikaan olla tai tekniseen ratkaisuun kiinnitetään liian paljon huomiota. Laitteet maksavat paljon. On luonnollista, että niiden käyttöä halutaan varmistaa

mahdollisimman pitkäksi ajaksi ja siksi kaluston hankkija haluaa saada muut vakuuttuneeksi ratkaisunsa oikeellisuudesta. Ja koska kylmämassat ovat aina enemmän tai vähemmän kokonaisratkaisuja, on oleellista, että merkinnän tilaaja saa myös kokonaiskuvan asiasta. Kuitenkin tilaajan kannalta pääasia on, että merkinnän tasalaatuisuus voidaan laiteteknisesti taata, että materiaalin käyttäytyminen vaihtelevissa olosuhteissa on hallinnassa ja että merkintä täyttää sille asetetut toiminnalliset vaatimukset.

Toinen hämmennystä aiheuttava seikka on se, että materiaalien levitepaksuudet poikkeavat kuumamassoista ja maaleista. Silti uusilla saatetaan päästä parempiin toiminnallisiin arvoihin kuin vanhoilla. Eri materiaaliratkaisujen keskinäinen vertailtavuus on mahdotonta. Tästä seuraa, että hinnat tulevat keskenään vertailukelvottomiksi.

Kylmämassojen tarkastelun lähtökohdaksi on asetettava toiminnallisuus, taloudellisuus ja turvallisuus, niin työntekijöiden, ympäristön että liikenteen kannalta.

2-komponentti polyesteri

Polyesteripohjaisia 2-komponenttimateriaaleja alettiin kehittämään 70-luvulla. Niiden tuli olla ohutlevitteisiä ja kestää paremmin sää- ja kunnossapito-olosuhteita kuin alkydipohjaiset maalit. 1980-luvun viimeisinä vuosina materiaalikehitys on ollut nopeaa. Syynä on ollut tarve päästä eroon maaleissa olevista liuottimista menettämättä maalia. Uusilla maalinomaisilla polyesterimassoilla pyritään parantamaan kulutuskestävyyttä, kuivumisaikaa, valo-ominaisuusarvoja ja levitysnopeutta. Koska tuotteet on kehitetty eri lähtökohdista kuin aikaisemmat materiaalit, merkitsee se erilaista suhtautumista aikaisempaan kylmämassateknologiaan. Polyesterimassat ovat yleisiä USA:ssa, mutta eivät Euroopassa.

Uuden sukupolven polyesteripohjaisten kylmämassojen levitepaksuudet ilman lasihelmiä ovat vähintään 125 ... 600 μ :tä ja korkeintaan 900 μ :tä (lasihelmien kanssa 175 ... 900 μ :tä ja 1,2 mm), kun se edellisen sukupolven polyesterituotteissa on jopa 1,5 ... 2 mm ilman helmiä. Uuden polyesterimassan suurin levitepaksuus ilman lasihelmiä on 900 μ :tä. 600 μ :tä paksummat levitteet eivät paranna kulutuskestävyyttä siinä suhteessa mitä paksuuden kasvu 125 ... 600 μ :n välillä tarjoaa.

Kun edellisen sukupolven polyesterimassat kovettuvat 6 ... 25 minuutissa, uusilla se tapahtuu 1 ... 2 minuutissa. Tarttuvuus kummallakin massalla on hyvä, sillä vaikka massoissa ei käytännössä ole liuottimia, on niillä likakalvoa liuottava vaikutus. Polyesteripohjaiset kylmämassat ovat kuitenkin liuotinmaaleja herkempiä epäpuhtaalle pinnalle ja voivat reagoida muiden merkintämateriaalien kanssa.

Tartumisesta ja ristiinsopivuuksista on kerrottu enemmän kohdassa "*Merkinnät eri pinnoitteissa*".

Levitenopeudet ovat entiseen nähden nousseet: 8 ... 12 km/h:n sijasta voidaan nykyään ajaa 18 ... 30 km/h. Kapasiteetti on kasvanut huomattavasti ja siitä saatava etu voidaan mitata rahassa sekä parantuneessa liikenneturvallisuudessa.

Koska polyesteripohjaisia sovelluksia on hyvin monta, on jokainen tuote verrattava vain itseensä ja arvioitava sen mukaan mitä rahalla saa kuinka pitkäksi aikaa. Joitakin yleistyksiä voi tehdä, mutta siinä on oltava hyvin varovainen, sillä toiminnallisuus on yksilöllistä. On aina muistettava, että kysymys on yksittäisestä tuotteesta: sideaineesta ja katalyytistä komponenttien lukumäärästä riippumatta.

Kylmämassoissa käytettävä polyesteri on tyydyttämätön ja siksi reaktiivinen. Luonnostaan polyesteri on epävaka. Sen onkin pysyttävä epävakaana, jotta kovettuminen tapahtuisi. Mitä vakaammaksi massa reseptiikalla rakennetaan, sitä heikommin se reagoi. Polyesterille on ominaista lähteä kovettumaan lämpötilan kohotessa ilman katalyyttiä. Kylmässäkin polyesterissä tapahtuu hitaan polymerisaation takia muutoksia, joka heikentää lopputuotetta ja saattaa aiheuttaa hallitsemattomia yllätyksiä levityksen yhteydessä.

Pääsääntöisesti massan runko-osa, joka edustaa 95 ... 99% painosta, sisältää polyesterihartsia, styreenimonomeeriä, kostuketta, adheesion kiihdytintä, väriainetta ja liitua. Toinen osa, katalyytti, vastaa 1 ... 5% painosta. Riippuen sovelluksesta, katalyytti voi olla useammassa eri muodossa: pulverina, hyytelönä, nesteinä tai sidottuna sirotehelmen pintaan.



Tehdasvalmisteinen maalaus kone on muutettu 2-komponentti polyesterille. Koneella voidaan levittää vaihtoehtoisesti liuotinmaalia. Maalitankit (keltainen ja valkoinen) sijaitsevat kiinteästi lavan keskellä. Niiden edessä on kompressorin ja takana liuotin- ja helmitankki. Katalyyttitankki on helmitankin takana.

100%:sen katalyytin käsittely on erittäin hankalaa, siksi se kaikissa olomuodoissaan on laimennettu. Katalyytti on usein metyyl-ethyl-ketoni peroksidi. Jokainen polyesteripohjainen 2-komponenttisolvellus on yksilöllinen lähinnä hartsista johtuen, niin katalyyttikin on yksilöllinen. Runkomassa, katalyytti ja niiden yhdistämistapa kuuluvat erottamattomasti yhteen.

2-komponenttikoneita rakennetaan Euroopassa ja USA:ssa yleensä kuorma-autojen rungoille. Ne voivat olla joko matala- tai korkeapainekoneita. Ilmattomaan ruiskutukseen on rakennettu myös käsikoneita. Koneiden perusmallit eivät ole sidottu mihinkään tiettyyn tuoteratkaisuun.

Valmiit koneet ovat kuitenkin kalliimpia kuin itse tehdyt. Yksinkertaisimmillaan 2-komponenttikoneen pohjana on tavallinen liuotinmaalille rakennettu maalauskone, johon on tehdään tarvittavat muutokset. Näin silloin, kun komponenttisovellus on suunniteltu mahdollisimman joustavaksi käyttäjän kannalta. Nopeimmin tarvittavat muutostyöt voi tehdä normaalin työpäivän puitteissa ja testaukseen sekä koulutukseen kuluu seuraava työpäivä.

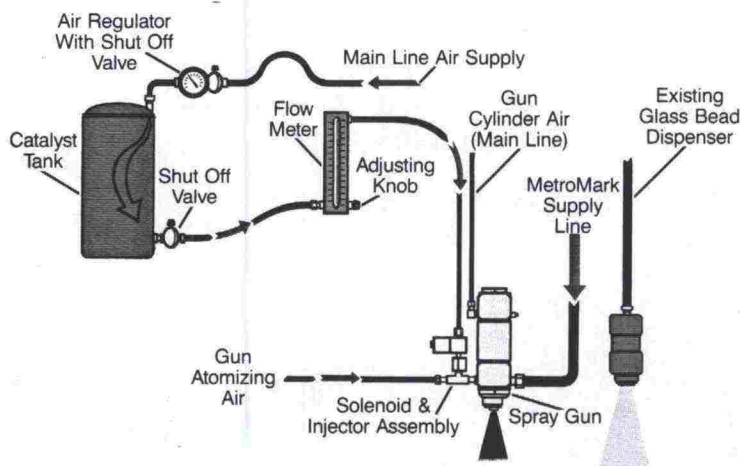


Tämä auto on vartavasten rakennettu 2-komponenttikoneeksi MMA:lle.

Jos koneessa on vapaata runkotilaa riittävästi ja koneen kokonaispaino ei aseta rajoituksia, muutostyöt ovat seuraavat: katalyyttitankin asennus, sen syöttö- ja säätöjärjestelmän asentaminen sekä kytkentä pistooleihin. Jos koneessa ei ole lämmönvaihtajaa, joudutaan se tarvittaessa lisäämään ja silloin asennusaika venyy korkeintaan yhdellä päivällä - taaskin edellyttäen, että tilaa löytyy. Massan esilämmitykseen tarvittavaa lämmönvaihtajaa ei aina tarvita, mutta useissa tapauksissa sitä käytetään. Esilämmitetty massa käyttäytyy ruiskutettaessa erinomaisesti jättäen tasalaatuisen kerroksen. Laitteella ohjataan 2-komponenttisovelluksissa viskositeettia ja mahdollisesti sitkoa. Kovettumis- tai kuivumisaikaan sillä ei haluta vaikuttaa, joka taas on tilanne vesioihenteisten ja liuotinmaalien kohdalla.

Seuraavassa kaaviokuvassa on järjestelmä, joka laitteiston puolesta sallii käyttäjän virheitä aika paljon. Esim. massa ruiskutetaan ilman katalyyttiä tai sitä on tullut liian vähän tai paljon. Silloin voidaan virhe korjata ajamalla pelkästään katalyytti tai lisäämällä pelkästään hieman massaa. Tällä järjestelmällä voidaan ruiskuttaa

myös maaleja pesemällä tankit ja huuhtelemalla massan syöttöjärjestelmä sekä sulkemalla katalyytin annostelujärjestelmä. Tämän tyyppisellä järjestelmällä voidaan pienin muutoksin levittää massaa, jonka katalyytti on ruiskutettava erikseen jo lasketun massan päälle. Myös helmikovetteisen massan levitys onnistuu hyvin riippuen kuitenkin helmitankin rakenteesta ja materiaalista.



Kaaviokuva yksinkertaisesta 2-komponentti polyesteritoteutuksesta.

Tankeissa, putkistoissa, pumpuissa ja massapistoolleissa voi käyttää samoja materiaaleja ja osia kuin liuotinmaalikoneissa. Katalyyttitankin tulee ehdottomasti olla ruostumatonta terästä. Muutenkin kevyissä ja paljon joustoa sisältävissä sovelluksissa käytetään vakio-osia, joiden saatavuus on helppoa ja hinta alhainen.

Seuraava askel sidonnaisuuteen on katalyytin sekoittaminen paljon ennen ruiskua passiivisessa sekoitustankissa. Ellei järjestelmässä voi sekoitustankkia sulkea pois, on materiaalin vaihtaminen suuren työn takana ellei jopa mahdotonta.

Mutta jos sovellus edellyttää orjapumppua, kuuluu myös sisäinen sekoituskammio järjestelmään. Tällöin muutostyöt ovat mahdottomia. Työvirheiden korjaamista ei voi ajatella jälkikäteen suoritettavaksi.

Ominaista kaikille kylmämassakoneille on helmien syöttäminen noin 2 ... 6 barin paineella. Tällä taataan helmien painuminen tasaisesti massa.

Mitä eristetyemmäksi muutoksille järjestelmä on rakennettu, sitä mukaan kasvaa ennakkohuollon osuus. Orjapumppujen toimintaa ja annostelua, kalvojen ja venttiilien kuntoa on tarkkailtava. Varaosien on oltava mukana kentällä. Varaosavaraston palveluasteen on oltava korkea ja se sitoo pääomaa.

3-komponentti polyesteri

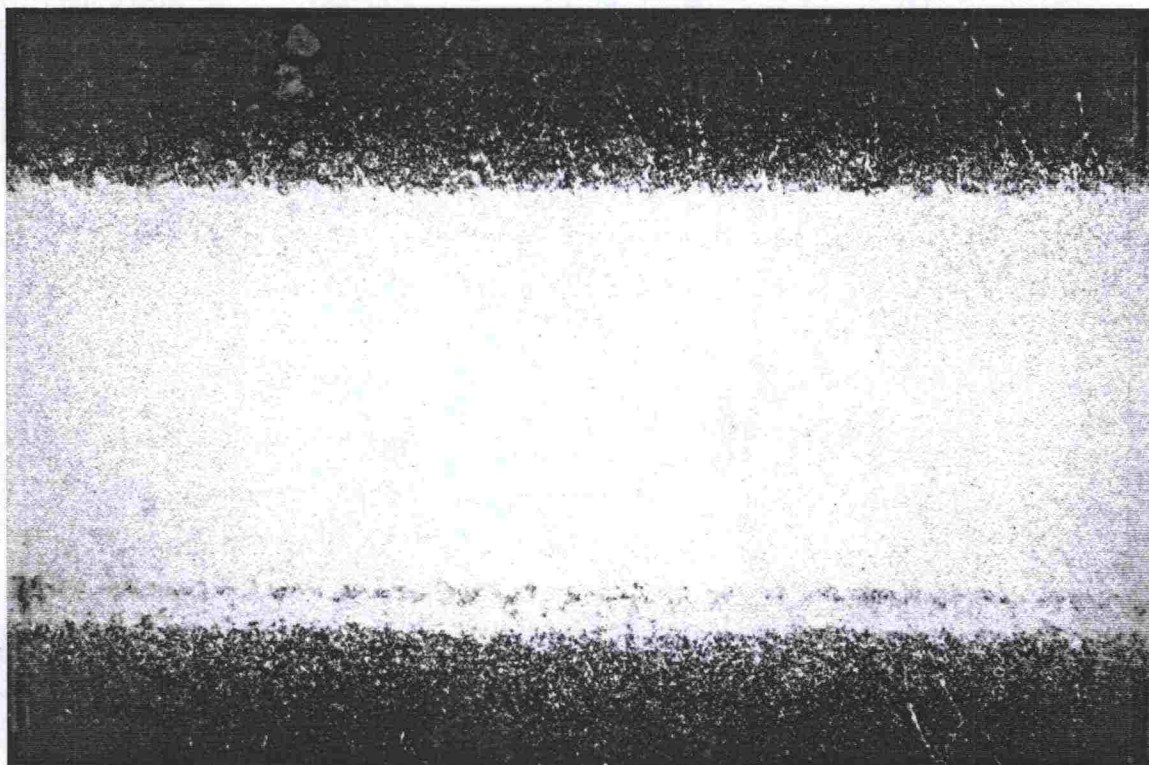
Perinteisesti polyesterimassat ovat ns. 2-komponenttituotteita, mutta myös 3-komponenttituotteita on kehitetty Norjassa. Jotun:in 3-komponenttisovellus perustuu edellisen sukupolven 2-komponenttiin. Siinä kovettumista edistetään kiihdyttimellä ja näin on saavutettu uutta sukupolvea vastaava kovettumisaika ja levitysnopeus. Myös toinen Norjalainen maalitehdas on saanut kokeilut 3-komponenttimassallansa käyntiin. 1992 aikana materiaalin pohjasta ja kentäkokeiden tuloksista sekä soveltuvuudesta annetulle kalustolle ei toistaiseksi

ole julkaistu tietoa. Käytännössä 3-komponenttitekniikka merkitsee polyesterin jo ennestään epävakaa tilan herkistämistä niin, että perusmassaan lisätään kiihdytin ennen katalyyttiä. Kiihdyttimellä helpotetaan katalyytin työtä.

Osoitus massan epävakaudesta on sen lyhyt varastointiaika, joka on korkeintaan 8 kk. Jos 2-komponentti vaatii käyttäjältään paljon, vaatii 3-komponentti vieläkin enemmän.

3-komponenttitoteutuksen valinta on kaikkia osapuolia sitova päätös. Kysymys on erittäin suurista investoinneista, joiden kuoletusaika on vähintään 5 - 7 vuotta merkintäkauden pituudesta ja kustannuslaskentaperusteista riippuen. Käytännössä tilaaja sitoutuu materiaaliin ja sitä vartavasten kehitettyyn laitteistoon. Jos laitteisto on urakoitsijan, sitoutuu tilaaja myös urakoitsijaan; urakoitsija taas materiaalitoimittajaan. Käytännössä materiaalin toimittajia on yksi ja tällä on voimakkaasti ohjaava vaikutus muiden osapuolien päätöksentekoon erittäin pitkäksi aikaa.

Massa kovettuu tien lämpötilasta riippuen 30 ... 120 sekunnissa. Massaa ei esilämmitetä, joten viskositeetin ja sitkon on oltava kohdallaan. Helmien määrä vaikuttaa kovettumisnopeuteen, mutta niillä ei ohjata kovettumista. 1 mm:n paksuiseen massaan ruiskutetaan lasihelmiä 750g/m^2 , joka on käyttäjän mukaan liian paljon. Levityspaksuus voi olla 1,1 ... 1,2 mm. Verrattuna tiettyyn 1,5 mm paksuun spray-massaan 1,2 mm paksu 3-komponentti kestää paremmin kulutusta. Tarttuvuus on hyvä, samoin paluueijastuvuus. Tuotteen epävakaisuudesta ja keskeneräisyydestä kielii valkoisen ja keltaisen värin muutos ruskeaan jo muutaman kuukauden kuluttua merkinnän teosta. Ongelmaa ei ole pystytty vielä toistaiseksi 1992 mennessä ratkaisemaan.



Uusi 3-komponentti polyesterilevite. Tästä huomaa, ettei levite poikkea mitenkään muista ruiskutusmenetelmällä tehdyistä merkinnöistä.

Työskentelylämpötila on tavallista alhaisempi: $+2^{\circ}$. Silloin kovettumisaika on noin 2,5 minuuttia. Käytännössä levitystyötä ei tehdä alle $+10^{\circ}$:n lämpötilassa.



Kuva levitystilanteesta.



Kone kuuluu Norjan tielaitokselle. Käytössä on 3 kpl kuorma-auton rungolle rakennettua konetta, joista kaksi on muutettu liuotinmaalikoneesta. Näissä kuvissa oleva kone on rakennettu alusta lähtien. Heti hytin takana katalyyttitankit ja isot orjapumput. Kummallekin värille on 2 konttitankkia ja kompressorit. Tankit ovat vaihdettavat ja niiden koko on suunniteltu siten, että materiaalia riittää koko päivän töille. Kiihdyttimelle ja

kovettimelle on omat tankit. Pistoolit on sijoitettu hydraulisesti liikkuvalla telillä, jonka etäisyys tien pinnasta säilyy telissä olevan pyörän avulla. Kummallakin puolella on telit ja laite pystyy ruiskuttamaan sekä keski- että sivuviivan. Ruiskutettava materiaalin pölyäminen rajoitetaan ilmaverholla. Ohjauspyörä on kummallakin puolella. Sisäisen värikamerajärjestelmän avulla valvotaan työsuoritusta ja takanatulevaa liikennettä.

Ruiskutusjälki ei poikkea muista ruiskutettavista materiaaleista. Reunat jäävät harsomaisiksi kuten kaikessa ruiskutuksessa. Mitä nopeampi levitysnopeus, sitä harsomaisemmaksi reunat jäävät. Harson olemassaololle ei mahda mitään, joten se on kaikkialla hyväksytty.

Laitteisto on monimutkaisuudesta johtuen vika-altis ja edellyttää jatkuvaa ennakkohuoltoa jatkuvan toiminnan takaamiseksi. Miehistön osaamistason on oltava erittäin korkea ja käytäntö on osoittanut, että heidän on oltava mukana laitteiston rakentamisessa ja massan tuotekehityksessä, jotta kaluston seisonta-ajat jäisivät mahdollisimman lyhyiksi.

3-komponenttilaitteisto perustuu orjapumppuun. Se on suurpainejärjestelmä, jossa massa ruiskutetaan 0,6 mm:n suuttimesta 80 ... 100 bar:in paineella. Levitepaksuutta ohjataan ajonopeuden säädöllä. Tarkka ajonopeus valvotaan tutkalla ja saavutetaan vakionopeuden säätimellä.

Laite on erityisen tehokas reunaviivojen levityksessä. Suuren kokonsa vuoksi sen on vaikea maalata teiden liittymien kaaret ja linja-autopysäkkien syvennykset.

Työhygieniä on erittäin korkeatasoinen. Laitteen ajonaikainen miehitys muodostuu koneessa olevista ajajasta ja valvojasta. Heidän ei tarvitse ruiskutuksen aikana poistua ohjaamosta. Lisäksi tarvitaan etuauton kuljettaja sivuviivaa ja taka-autoa keskiviivaa tehtäessä. Koska materiaalit - massa, kiihdytin ja katalyytti - toimitetaan koneeseen suoraan asennettavissa konteissa, jää altistuminen sattumanvaraiseksi. Ruiskutusjärjestelmän puhdistus, joka ei ole suljettu järjestelmä, tapahtuu asetonilla.

2-komponentti epoksi

2-komponentti epoksipohjaisten massojen kehitys alkoi 70-luvulla ja nyt niistä ollaan luopumassa niiden terveydelle vaarallisten ominaisuuksien takia. Kehitys lähti käyntiin samasta syystä kuin polyesteripohjaisten sovellusten, nimittäin merkintöjen kestävyuden parantamisen takia. Epokseja kehitettiin voimakkaasti USA:ssa.

Tyypillisimmillään epoksimassa muodostuu epichlorohydrin-bisphenol A epoksihartsista, väriaineesta, jatkeista ja täyteaineista. Kovetinvaihtoehtoja on useampia, mutta yleensä ne ovat amiineja. Komponenttien suhde voi olla missä tahansa 1:1 ja 5:1 välillä riippuen reseptin koostumuksesta. Kovettumista ohjataan käyttämällä eri kovettimia. Sovellukset perustuvat poikkeuksesta orjapumppuihin ja kovetin sekoitetaan passiivisessa sekoituskammiossa.

Sovellukset ovat poikkeuksesta erittäin vika-alttiita ja hankalia käsitellä. Jo pienenkin pysähdysten takia joudutaan järjestelmä huuhtomaan sekoituskammiosta ruiskuihin asti. Muutenkin sama huuhtominen joudutaan suorittamaan tasaisin väliajoin, sillä epoksi lähtee kovettumaan heti.

Toinen ikävä ominaisuus on se, että massa kuluttaa pumpppujen sylinterien ja kalvojen tiivisteet nopeasti. Pahimmassa tapauksessa tiivisteet joutuu vaihtamaan päivittäin ja parhaimmillaan kerran kuukaudessa. Kun massapuolen pumpun tiivisteet kuluvat, palautuu pumpun männän paluuliikkeen yhteydessä massaa takaisin ja kovettimen suhteellinen määrä kasvaa. Siksi työnaikana yksi miehistön jäsen tarkkailee lasketun viivan leveyttä jatkuvasti. Kun viivan leveys alkaa aaltoilemaan, on aika vaihtaa kaikki massapuolen tiivisteet. Tässä vaiheessa virhe on jo tapahtunut ja sitä ei enää korjaa mikään, sillä epoksi ei siedä edes itseään. Epoksi on laskettava aina neutraaliselle pinnalle. Kovettimen yliannostuksella on itseasiassa laimennettu massaseosta ja polymerisaatio tapahtuu liian nopeasti niin että polymeeriketjusta ei tule täydellistä. Levitteestä on tullut hauras ja muutaman viikon kuluttua yhtenäisestä viivasta on tullut katkoviiva, jossa katkojen väli vastaa pumpun männän iskun pituutta suhteessa etenemisnopeuteen.

Yleensä kovettumisajat ovat sietämättömän pitkiä, 15 ... 30 minuuttia tai enemmän. Siksi tieosuudet usein suljetaan merkinnän ajaksi. Levitysnopeudet ovat 8 ... 12 km/h.

Levittepaksumuodot ovat yleensä 400 μ :tä ja korkeintaan 600 μ :tä. Sitä paksummat levitteet eivät onnistu.

Joillakin 2-komponenttipoksilla on eräs erikoinen ominaisuus, jota muilla tiemerkinntämateriaaleilla ei ole. Ne toimivat erinomaisesti märässä. Siksi juuri näissä tapauksissa ennen massasuutinta on vesiruisku.

Epoksi tarttuu hyvin sementtipintoihin ja pysyy siinä. Kulutuskestävyydessä epoksia ei voita mikään.

Epoksi on erittäin myrkyllistä, varsinkin liuotteettomat epoksihartsit. Viimeksimainitut ovat pienimolekyylisiä ja näiden hartsihiukkaset imeytyvät hyvin herkästi ihmisen verenkiertoon. Myös kovettimet ovat myrkyllisiä.

2-komponentti akryyli; MMA

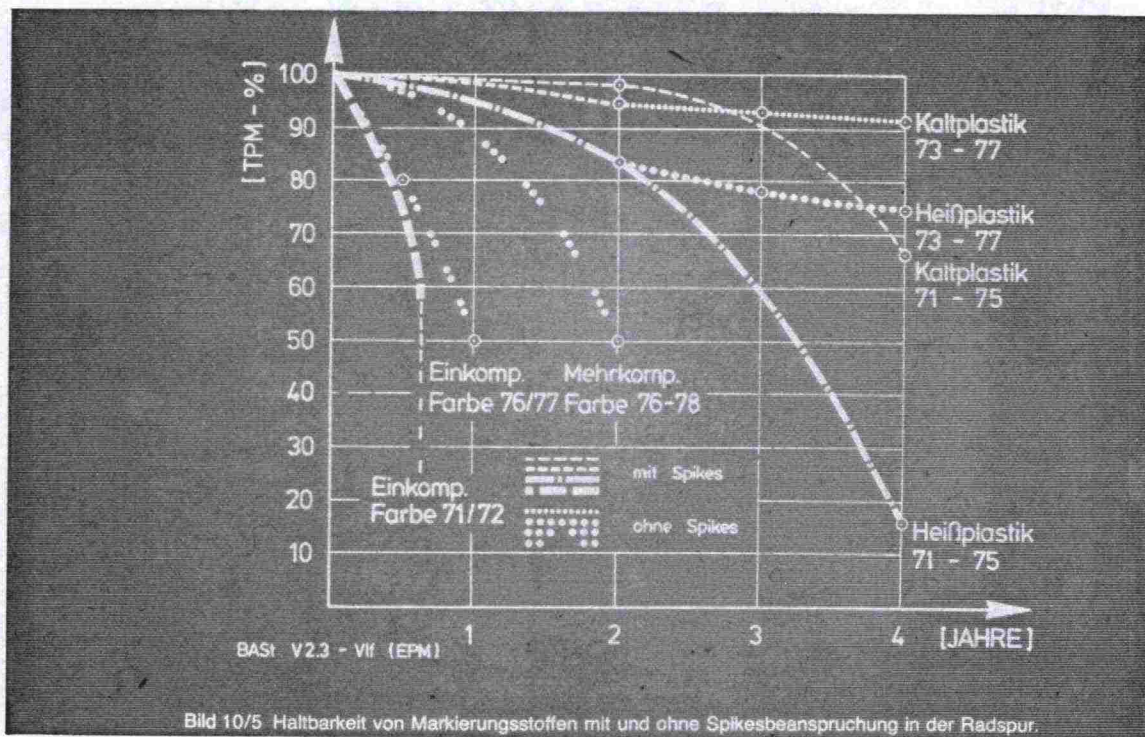
Euroopassa akryyli on yleisin 2-komponenteissa käytetyistä sideaineista. Akryyli on kemiallisesti varsin vakaa. Se kestää kulutusta erinomaisesti, jopa paremmin kuin polyesterit. Säänkestävyys on myös erittäin hyvä. MMA - Methyl Methacrylate - on yksi monesta akryylisideainetuotteesta. Se on 70 ... 80 vuotta vanha monomeeri.

Degussa (Saksa) esitteli MMA-ratkaisunsa tiemerkinntöissä jo 60-luvun puolivälissä ja siitä lähtien tuote ei ole sisäisesti muuttunut paljoakaan. Katalyytinnä osalta on tapahtunut kehitystä ja muutosta. Muutokseen ovat vaikuttaneet eri levitys- ja laitetekniikat.

Degussan tuote perustuu MMA-monomeeriin, jonka kauppanimi on Degaroute. Katalyyttinä käytetään dibentsoylperoksidia, joka yleisesti lyhennetään BPO. BPO ei ole **kauppanimi**. Kovettumisprosessin eli polymerisaation tuloksena syntyy **muista komponenttisuhteista poikkeava** molekyylisetju, sillä sen runko **muodostuu pelkästään** hiiliatomeista.

Degussa myy hartsinsa yleensä maalihteille tai vastaaville, jotka lisäävät **paikallisten olosuhteiden** mukaan tarvittavat täyteaineet ja väriaineen. Degussa antaa vain reseptien raamit ja loppu on jatkojalostajasta kiinni. Tämä tarkoittaa sitä,

että eri valmistajien MMA-sovellukset eivät aina ole suoraan keskenään vertailukelpoisia, varsinkin mitä valo-ominaisuuksiin tulee. Muuten MMA sietää hyvin UV-säteilyä ja on kulutusta kestävä tuote. Levitystavasta ja käyttökohteesta riippuen MMA-sovelluksia voidaan verrata kuumamassoihin, muihin 2- ja 3-komponentteihin sekä maaleihin. MMA on ns. hyvin käyttäytyvää massaa. Se tarkoittaa sitä, että kovettuneen MMA:n sisäinen jännitys ei ylitä tien pinnan jännitettä. MMA ei käpristy reunoilta ja ei näin ollen lohkeile pois.



Kuva MMA:n kulutuskestävyydestä mainittuina ajanjaksoina. Kuvassa ilmenee, milloin Saksassa luovuttiin nastarenkaista.

Selitykset:

Kaltplastik = Kylmämassa
Einkomp. Farbe = 1-komponentti
mit Spikes = Nastat
Jahre = Vuosi

Heißplastik = Kuumamassa
Mehrcomp. Farbe = Monikomponentti
ohne Spikes = ei nastoja

MMA voidaan levittää kuten kuumamassa ekstruderikoneella, käsikauhalla tai kärryllä. Silloin levitteen paksuus vaihtelee 1,5 - 3,0 mm. Tässä tapauksessa katalyytti lisätään joko suoraan massaan tai sitten lisäys tapahtuu ennen sekoituskammiota. Sekoitussuhde on 4:1. Tämän tyyppinen levite muistuttaa kuumamassaa, sillä siinä on samoja täyteaineita ja lasihelmien osuus on 20 - 40% painosta. Kulutuskestävyys on vähintään samaa luokkaa kuin kuumamassoilla.

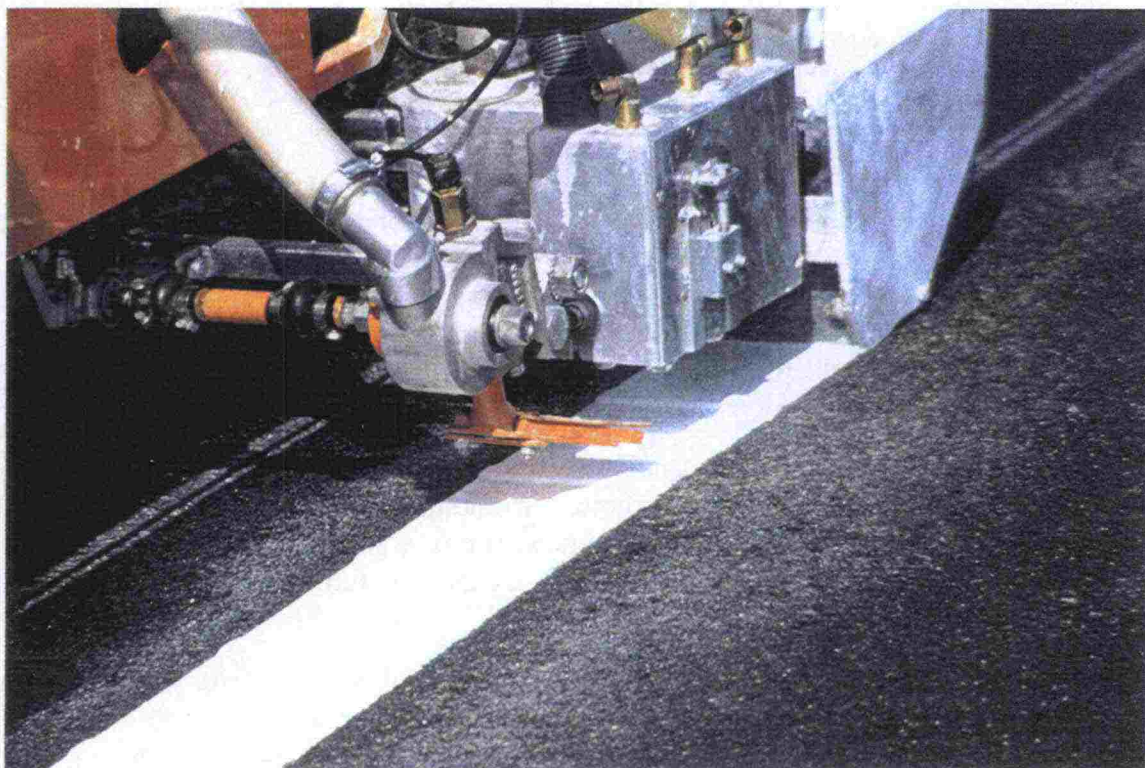
Pääsääntöisesti MMA:n levitys vaatii sitä varten kehitetyn laitteiston varsinkin, jos lopputuloksesta halutaan olla varmoja. Järjestelmän perustana on yleensä ns. suonen sisäinen katalyytin syöttö ja sekoituskammio. Tämän tyyppiset laiteratkaisut ovat kalliita. Laiteratkaisu edellyttää sitoutumista vain Degussan MMA:lle.

Ekstruderilevitystä varten mm. Hoffman on kehittänyt kaksi eri levityskoneratkaisua, joista yksi levittää massan avolaahaimella ja toinen nauhalevitintä muistuttavalla laatikolla. Kovettimen sekoitus näissä tapahtuu toisistaan poikkeavalla tavalla. Avolaahaimmallissa sekoitin pyörii ja

nauhamallissa se on passiivinen. Laiteratkaisujen hinnan ero on huomattava, mutta niin on myös eroa materiaalikulutuksellakin. Degussa valmistaa itse kätevää kärryä, johon massatynnyri kiinnitetään suoraan ja josta saa juuri tarvittavan määrän materiaalia. Kovettimen syöttö on tässä erillinen, joten merkinnät voivat olla pieniä ja kohteiden sijainnilla ajankulumisen kannalta ei ole merkitystä.



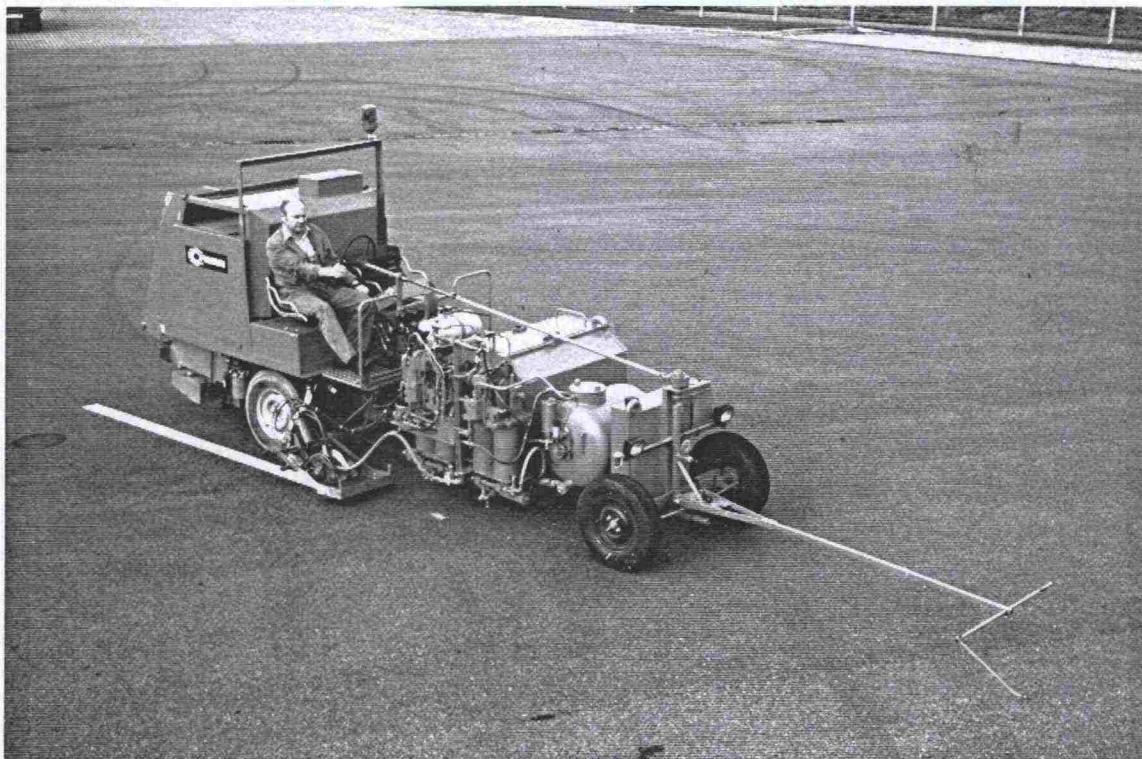
Kärikärry.



Laahainkoneen suuttin.

Ruiskutustoteutuksia on kaksi. Yhdessä katalyytti sekoitetaan järjestelmän sisällä ja toisessa sirotehelmet on käsitelty katalyytillä. MMA:ssa ei nyt ole esisekoitettuja helmiä. Massan ja katalyytin suhde on 98:2, kun katalyytti lisätään ennen suutinta. Tällöin katalyytti on erillisessä tankissa ja sekoitus tapahtuu sekoituskammiossa. Katalyytin syöttö perustuu varmennettuun orjapumppuun. Pumppuja on siis kaksi erikseen kummallekin ainesosalle. Toinen pumppu mittaa ainesosan oikein nopeuden suhteen.

Menetelmä on kallis toteuttaa ja herkkä vioittumiselle. Miehistön tulee seurata kovettumista ja sillä tulee olla mahdollisuus laitteiston työnaikaiseen ylläpitoon. Riippuen massan täyteaineista ja raekoosta, pumpun tiivisteiden kuluminen saattaa olla merkittävää ja nopeatakin. Pahimmassa tapauksessa tiivisteet joutuu vaihtamaan päivittäin ja parhaimmillaan kerran kuukaudessa.



Hoffmanin kone. Orjapumput sijaitsevat koneen sivulla.

Helpoin ja edullisin ruiskutus toteutetaan katalyytillä käsitellyillä helmillä. Massaa ja helmiä tulee tällöin annostella 1:1 painon suhteen. Järjestelmä on ilmaton. MMA ei vaadi erityistä pistoolia, vaan siihen soveltuu mikä tahansa ilmaton ruiskutukseen tarkoitettu pistooli. Sitä vastoin sirotepuoli vaatii tavallista enemmän huomiota. Ensinnäkin pistoolin tulee olla matalapaineella toimiva ja suulakkeen tulee olla tarkkaan levittämiseen soveltuva. Toisekseen helmiä on tultava juuri oikea määrä massan määrään nähden. Tämä edellyttää sirotejärjestelmältä nopeuden tunnistusta. Esim. Hoffmannilta ja Gamberilta löytyy siihen sovellukset. Ne käyttävät omaa nopeuspyörää.

Levitepaksuudet ruiskutuksella ilman helmiä vaihtelevat 300...600 μ :n välillä. Helmet kasvattavat levitteen paksuutta 100...300 μ :tä riippuen kovetinratkaisusta. Silloin, kun kovetin on helmissä, levitepaksuuden yläraja on 600 μ :tä. Tämä johtuu siitä, että polymerisaatio edellyttää helmien tasaisen jakaantumisen massassa ja jos

massan paksuus ylittää ns. rakenteellisen paksuuden, massan alin osa jää ilman kovettajaa. Lopputulos muistuttaa marenkia: rapea päältä ja pehmeä sisältä.

Levitysnopeudet eri toteutustapojen välillä vaihtelevat. Suuriin nopeuksiin ei MMA-sovelluksilla päästä. Käsilevityksen nopeus on kiinni ryhmästä, kuten muissakin tapauksissa, jos kalusto on asianmukainen. Ekstruderilla etenemä on 7 km/h ja ruiskutusmenetelmällä 8...12 km/h. On muistettava, että levitteen paksuutta ruiskutuksessa ohjataan nopeudella.

Kuten edellisestä huomaa, on sovelluksesta riippuen helmien käyttötavassa merkittäviä eroja. MMA, kuten muutkin nestemäisessä muodossa olevat muovit, sitoo helmen luonnostaan hyvin. Ekstruderilevitteinen MMA on myös nestemäisessä muodossa. Helmen sitoutuminen paranee huomattavasti silloin, kun pintasirotehelmi käsitellään silaanilla (silene). MMA-hartsille soveltuu kaksi eri silaania. Helmien koolle ei aseteta vaatimuksia.

MMA ei sovellu levitettäväksi kuumamassojen päälle. MMA:n kiinnittyminen on kuumamassassa käytetystä hartsista riippuen sattumanvaraista. Maalipintoihin MMA kiinnittyy jollakin lailla, mutta parasta on levittää MMA neitseelliselle pinnalle. Itseensä MMA kiinnittyy ongelmitta. Betonialustaan MMA tarttuu hyvin, kuten muutkin 2- ja 3-komponenttituotteet.

Massan polymerisaatioprosessi takaa levitteen onnistumisen tai epäonnistumisen. Ikävintä komponenttituotteiden epäonnistumisissa on se, että niissä ei ole "melkein"-vaihtoehtoa. Kovettumisprosessia tulee valvoa, jotta epäonnistumiset jäisivät vähäisiksi. Valvominen on vain hankalaa sellaisissa sovellustapauksissa, jossa kovetin lisätään ns. suonen sisäisesti ja vieläpä orjapumppujärjestelmällä. On tavallaan onni, että levitysnopeudet eivät ole suuria, mutta silti huonoa jälkeä saattaa syntyä paljonkin.

MMA voidaan esilämmittää. Tällöin levityslämpötila on 32 °C. Esilämmityksellä ohjataan viskositeettia ja sitkoa. Samalla saavutetaan vakaampi lähtölämpötila polymerisaatiolle, jolloin katalyytin annosteluun ei periaatteessa tarvitse kiinnittää paljoakaan huomiota.

Kun esim. MMA:lle ilmoitetaan kovettumisaikoja, niin ne annetaan vakio- λ -lämpötiloille: ilma ja tie +20 °C. Käsien levitettyinä kovettumisaika on 15...20 min ja ruiskutettuna, kun katalyytti on helmissä: 8 min. Kun tien lämpötila kasvaa, nopeutuu myös polymerisaatio.

Kylmämassoilla työskentely on marginaaleilla pelaamista. Pienet muutokset tai vaihtelut tietyissä paikoissa ja olosuhteissa yhdessä ja erikseen aiheuttavat suuret vahingot. Yleistä monille muovitoteutuksille on se, että ne eivät anna vahinkoa anteeksi ja ne ovat sisäisesti enemmän tai vähemmän epävakaita. Vahinkoa ei voi korjata, koska prosessia ei saa pysäytettyä tai kurottua kiinni. MMA:lla mm. on näitä ominaisuuksia. Ja taaskin: osa ikävistä ominaisuuksista on riippuvaisia sovelluksesta eli paljonko, missä, miten ja milloin katalyyttiä lisätään massaan.

Katalyytin ja massan sekoittumisen tulee olla täydellistä ja sekoittumisen onnistuminen suonen sisäisessä järjestelmässä takaa hyvä sekoituskammio ja oikea sekä tasainen virtausnopeus. Myös massan viskositeetti vaikuttaa sekoittumiseen.

Jos katalyytti lisätään massapataan, on annostelu liian epätarkkaa ja lopputulos arvaamaton, koska padassa olevan massan ja katalyytin keskinäinen suhde on tuntematon. Pahimmassa tapauksessa massa polymerisoituu jo koneen sisällä. Toinen ääripää on se, että katalyyttiä on tullut liian vähän tai liian paljon ja levite kovettuu hyvin hitaasti tai ei lainkaan.

Katalyytin annostelussa orjapumppujärjestelmän vaarana on pumppujen tiivisteiden kuluminen. Kun massapuolen pumpun tiivisteet kuluvat, palautuu pumpun männän paluuliikkeen yhteydessä massaa takaisin ja katalyytin suhteellinen määrä kasvaa. MMA:n tapauksessa epäsuhdetta ei näe yhtä helposti kuin epoksisovelluksissa. MMA ei vain kovetu oikeassa ajassa ja oikea aika on riippuvainen ilman ja tien lämpötilasta. Katalyytin yliannostuksen huomaa jonkin ajan kuluttua, kun levitteen väri muuttuu mustaksi, ruskehtavaksi tai vaaleanpunaiseksi. MMA:n tapauksessa katalyyttiä voi yliannostaa 2%, mutta 5%:n yliannos näkyy jo tuloksessa. Katalyytin yliannostus laimentaa massaseosta ja polymerisaatio tapahtuu liian nopeasti niin, että polymeeriketjusta ei tule täydellistä. Levitteestä tulee hauras.

Ilman ja tienlämpötilalla on suuri merkitys kovettumisprosessille. Tätä varten MMA:lle on olemassa katalyytin annostelutaulukot. Kun edellä varoitettiin katalyytin yliannostuksen vaaroista, lyödään tässä varoitusta korville. Mitä kylmemmissä olosuhteissa työ tapahtuu, sitä enemmän katalyyttiä tarvitaan. Tämä johtuu siitä, että polymerisaatio edellyttää tiettyä vähimmäislämpötilaa ja prosessin lämpötilaa voidaan säädellä katalyytillä. Säätelymahdollisuudet ovat riippuvaisia siitä mihin katalyytti on laimennettu ja missä suhteessa. Orjapumpuilla säätely on hankalaa. Helmiä ei voi sirotella liikaa - varsinkaan isorakeista, sillä levite kuroutuu helmien ympärille ja tarttuvuus kärsii etenkin levitteen reunoilla.

Katalyyttinä käytetty BPO on pulverimuodossa ja se on laimentamattomana vaarallinen. Vaarallisuutta kuvaa BPO:n räjähdysherkkyys ja reaktioherkkyys raudalle. "Ruutia" BPO:sta tulee silloin, kun se ensin kostuu ja sitten kuivuu. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että BPOta ei saa laittaa metalliastiaan eikä se saa tulla kosketuksiin ruosteen kanssa. Reaktiivisuus on ominaista BPO:lle ja yleensäkin peroksidit ovat herkkiä aineita. BPOta ei saa säilyttää tai varastoida lämpimässä paikassa. Esim. kesällä, jos lämpötila astiassa nousee 80 °C:een, kiihtyy peroksidin vapautuminen ja jos BPO on suljetussa astiassa niin astiaan syntyy korkea paine hyvin nopeasti. Tämän takia katalyytin käsittelyssä tulee noudattaa tarkasti valmistajan antamia ohjeita. On muistettava, että reaktiot ovat erittäin nopeita ja hallitsemattomia. Peroksidi on hyvä renki, mutta huono isäntä - kuten tulikin.

BPO:n laimennus voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla, joka poistaa mm. räjähdysvaaran ja helpottaa muutenkin aineen käsittelyä, annostelua sekä sekoittamista. Seuraavassa taulukossa esitetään seosten väkevyydet ja laimennustavat.

Katalyytti-seoksen väkevyyys %	Laimennus-tapa
70	Vesi
50	Pehmennin
1	Lasihelmi

Veteen laimennettua vaihtoehtoa ei suositella, koska lopputuotteen laatu kärsii huomattavasti. Käyttökelpoisiksi vaihtoehtoisiksi jäävät kaksi viimeistä toteutusmallia. Laimennusvaihtoehto on täysin riippuvainen levitystavasta ja levitystapa merkinnän käyttötarkoituksesta.

Katalyytillä käsiteltyjen lasihelmien kanssa tulee olla varovainen kahdesta syystä. Ensinnäkin peroksiedeilla on ominaisuutena vapautua ilmaan ja vapautuminen kiihtyy ilman lämpötilan noustessa. Siksi levityksessä käytettävien helmien määräksi ei suositella suurempaa erää kuin mitä esim. työrupeaman aikana kuluu. Koneessa helmien tulisi olla suljetussa tankissa.

Toiseksi helmien käsittely aiheuttaa pölyä se joutuu helposti silmiin. Kun lasihelmet silmissä aiheuttaa muutenkin tuskaa, niin katalyytillä käsitelty helmet pahentavat tilannetta ja lopputuloksena saattaa tulla silmiin pysyviä vaurioita. Siksi silmäsuojainten käyttö on näissä olosuhteissa edellytys.

Pääsääntöisesti 2- ja 3-komponenttituotteet ovat ns. liuotinvapaita, joten haihtuvien hiilivetyjen päästöt ovat varsin vähäisiä: 0,5...2%. MMA:n kohdalla päästöjen osuus on noin 1%. Haju saattaa joidenkin mielestä olla merkittävää ja aiheuttaa mm. pahoinvointia, mutta hajulla ei ole yhteyttä hiilivetypäästöihin. Työskentelyolosuhteissa hyvästä ilmanvaihdesta on huolehdittava. Osa tuotteesta käytetyistä aineista on kovia myrkkyjä, mutta ne sitoutuvat lopputuotteeseen eivätkä liukene tai vapaudu.

Liuotinta käytetään järjestelmän puhdistamiseen ja on laiteratkaisusta kiinni mitä pesuliuottimelle tapahtuu. Hoffmanilla on toteutettu pesuliuottimen talteenotto.

Saksassa ja USA:ssa kentällä suoritetuissa pitkäaikaisissa kulutuskestävyys- ja paluuehjästuvuuskokeissa lopputuloksena saatiin vertailtavuus maalien, 2-komponenttimateriaalien ja kuumamassojen kesken. Kokeissa kulutuskestävyyttä seurattiin paluuehjästuvuusarvojen kehityksellä. MMA:lle saadut tulokset ovat olleet kaikkialla hyviä.

Kuumamassat

Kuumamassat ovat aineita, jotka muuttuvat juokseviksi lämpötilan noustessa ja jähmeiksi jäähtyessään. Tien lämpötilassa ollessa normaali massa on kiinteää ja kovaa, mutta lämpötilan noustessa lähelle 60 °C massa pehmenee. Massan valmistus tapahtuu noin 190 °C ja levitys n. 200 ... 230 °C lämpötilassa. Kuumamassoissa ei ole laisinkaan liuottimia ja ne ovat kemiallisesti reagoimattomia - inerttejä.

Ensimmäiset kuumamassamerkinnot tehtiin Englannissa ennen toista maailmansotaa ja koostuivat erilaisista vahoista.

Kehityksestä

Kuumamassojen kehitys on ollut hieman maltillisempaa kuin mitä maalipuolella. Kuitenkin tuotekehitys on ollut sen verran merkittävää, että nykyisiä massoja ei voi verrata 1986 ja sitä aikaisemmin valmistettuihin. Täyteaineet ovat edelleen samoja, mitä käytettiin jo 70-luvun alussa. Sideaineetkin ovat edelleen samoja, mitä on käytetty 80-luvulta lähtien. Vaikka vaihtoehtoisia aineita on yritetty ottaa käyttöön, on vanhat konstit siltäkin osoittautuneet parhaimmiksi. Kehitys onkin

tapahtunut jo hyväksi havaittujen sideaineiden ominaisuuksissa. Ne ovat tulleet huomattavasti luontoystävällisemmiksi, koska liukenevia aineita ei enää ole. Savukaasupäästöt on saatu miltei olemattomiin ja hajuhaitatkin ovat huomattavasti pienemmät kuin aikaisemmin. Noin 200 °C:n lämmössä haihtuvia aineosia ei enää juuri ole. Hartsit ja öljyt ovat puhtaampia ja värittömämpiä jalostusasteen nousun ansiosta. Hartsien iskun- ja lämmönkestävyys ja UV:n sietokyky ovat parantuneet merkittävästi. Lämmönkestävyyden paraneminen on merkinnyt piempää riskiä kemiallisten muutosten synnylle massan levityksen yhteydessä, kun se joutuu olemaan pitempiä aikoja kuumana padassa. Muutoksia voi tapahtua esim. viskositeetissa ja sitoutumiskyvyssä. Hartsien, elasto- ja polymeerien yhteensopivuus on entisestään parantunut. Nykyisissä sideaineissa on huomioitu käyttö- ja työturvallisuus, luonnon kuormituksen vähentäminen ja sää- sekä ilmasto-olosuhteet.

Myös kehitystyöhön osallistuvien henkilöiden koulutustaso on noussut ja sitä kautta osaaminen asiantuntemuksen ohella on parantunut. Tietotason paraneminen on merkinnyt mm. poly- ja elastomeeritekniikan kasvanutta osaamista. Nämä ovat osaltaan merkinneet sitä, että osataan rakentaa iskun- ja kulutuksen kestäviä sideaineseoksia.

Kehityksen alullepanijana ovat olleet Ruotsin, Norjan ja Tanskan tielaitokset sekä välittömästi materiaalien kanssa tekemisiin joutuneet henkilöt. Tienhoitoviranomaiset ovat pystyneet määrittämään aikaisempaa paremmin toimivuusvaatimuksensa samoin kuin työntekijät materiaalin käsiteltävyyden. Materiaaleja valmistava teollisuus on omalta osaltaan vaikuttanut vaatimusten ja odotusten toteutumiseen, koska se on nähnyt kehityksen seuraukset liiketoimintaansa vahvistavana tekijänä. Samanaikaisesti merkintäteollisuus on havainnut, että parantuneet tulokset eri osa-alueilla ovat merkinneet vahvistunutta kilpailukykyä. Markkinatekijät ovat omalta osaltaan vaikuttaneet siihen, että teollisuus on aktiivisesti hakenut alati parempia ratkaisuja. Näinollen selkeät vaatimukset ovat kohdistuneet lopulta raaka-aineiden valmistajiin. Lopputuloksena on ollut se, että merkintämateriaaliteollisuus on saanut käyttöönsä raaka-aineteollisuuden tuotekehitysresursseja. Näin ensin mainittu on päässyt valitsemaan "paikan päällä" parhaimmat ja sopivimmat aineet. Kilpailu raaka-ainetoimittajien kesken on taas vaikuttanut siihen, että tuotekehitys on lähtenyt uusille urille lähtökohtana käyttäjien tarpeet.

Edellä kuvattu kehitys on tuonut markkinoille useampia hartsilaatuja. Tämä tarkoittaa sitä, että esim. merkintämateriaaleja valmistavalla teollisuudella on useampia eri laatuvalintoja eri käyttötarkoituksiin. Tilaajalla on näinollen mahdollisuus vaikuttaa tilaamansa massan laatuun ja toiminnallisuuteen paremmin kuin koskaan aikaisemmin. Toisaalta, jos tätä tilaisuutta tilaaja ei oivalla eikä osaa määritellä tarpeitaan riittävän tarkasti, on mahdollista, että se saa kuviteltua heikompa laatua - tahallaan tai tahattomasti. Se, että laatu määritellään vaikkapa vain EN-standardiehdotuksen mukaisesti, voi merkitä toimittajalle porsaan reikää, jos tilaaja ei ole huolellinen ja tunne alaa. Eli huomattava laaturiski on nyt olemassa, joskin se lienee enemmän teoreettinen kuin käytännön ongelma, mutta ei kuitenkaan mahdoton. Muun muassa iskun kestävyys on ensimmäinen asia, johon tilaajan tulee kiinnittää huomiota. Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa käytetyt kuumamassalaadut ovat riittävän hyviä, mutta jo esim. Tanskassa ja Englannissa

käytetyissä laaduissa onkin jo valtavia eroja ja silti ne täyttävät EN-standardiehdotuksen mukaiset laatuvaatimukset. Laatukohtaiset erot eivät aina ole suoraan riippuvaisia käytetystä hartsista vaan paremminkin siitä periaatteesta, mitä ominaisuuksia silmällä pitäen massa on valmistettu. Tuote- ja laatukehitys on johtanut siihen, että hinta seuraa laatua ja kompromisseja näissä kahdessa asiassa ei ole.

Koostumuksesta

Kuumamassan sideaine koostuu 4 ... 6 eri aineosasta reseptistä ja sideainemäärityksestä riippuen. Hartseina voidaan käyttää alkydi- tai hiilivety pohjaisia tuotteita, mutta myös mäntyöljystä valmistettuja hartseja. Yleisimmin käytetään hiilivetyhartseja. Niiden kulutuskestävyys on parempi kuin alkydeillä. Hartsien lisäksi käytetään polymeerejä. Hartsit ja polymeerit ovat tyydytettyjä, joten ne eivät ole kemiallisesti aktiivisia. Synteettinen kumi antaa joustavuutta ja kylmän sietokykyä ja öljyt parantavat herkästi viskositeettia ja juoksevuutta. Sideaine on massan kallein osa. Sen tehtävänä on muodostaa ympäristö, jossa muut aineet pysyvät. Täyteaineet vahvistavat massaa ja toimivat betoniraudoituksen lailla.

Kuumamassan kaikki ominaisuudet ovat riippuvaisia reseptiikasta. Jokaiseen reseptiin sisältyy monia liikesalaisuuksia ja se antanee kuvan siitä, että kuumamassat eivät ole niin yksinkertaisia asioita kuin mitä yleisesti luullaan. Ruotsi, Norja, Tanska ja Suomi - tässä järjestyksessä - ovat kuumamassojen reseptiikassa johtavia maita. Seuraavassa periaate valkoisen kuumamassan koostumuksesta painon suhteessa:

Sideainetta	15 ... 35 %
Lasihelmiä	14 ... 33 %
Titaanidioksidgeja	8 ... 12 %
Täyte- ja lisäaineita	48 ... 50 %

Lisäaineista mainittakoon UV-säteily suoja. Tällä estetään mm. hartsin pilkkoon tuminen ja suojataan väriaine värinmuutoksilta. Käytännössä lasihelmien osuus painosta voi vaihdella 20 ... 40%:n välillä. Euroopassa yleisimmin lasihelmien osuus on noin 20%, joskin näyttää siltä, että määrä on lievässä kasvussa.

Syy vaihteluun perustuu siihen, että 20%:n osuus on nyt asetettu kyseenalaiseksi. Miksi? Siihen vastaus löytyy sekä historiasta että nykyisistä vaatimuksista. 50-luvun lopulla USA:ssa maali- ja helmivalmistaja yhdistivät markkinointinsa avioliiton seurauksena. Kun appiukko ja vävy miettivät miten lasihelmet saataisiin kaupaksi, appi päätti, että sekoitetaan 20% helmiä tiemaaleihin. Kun kuumamassoihin haluttiin heijastavuutta, otettiin malli tiemaaleista asiaa sen enempää ajattelematta. Näin täysin epätieteellisesti tehdyllä päätöksellä oli varsin kauaskantoiset seuraukset, joka vaikuttaa vielä tänäkin päivänä. Kun paluueijastuvuuteen ollaan määrätietoisesti panostamassa ja spray-tekniikan käyttö laajenee, joutuvat sirotetekniikka ja lasihelmet koko käyttöalueen laajuudessa väistämättä suurennuslasin alle.

Lasihelmiä lisätään kuumamassaan valmistusvaiheessa. Niillä on kaksi tehtävää: toimia täyteaineena ja taata jatkuva paluueijastuvuus kulutuksen aikana. Kun kuumamassa rakennetaan "oikein", helmiä tulee esiin sitä mukaan kun liikenne ja sää kuluttavat massaa niiden ympäriltä. Sään vaikutuksen määrää pystytään ohjaamaan

jonkin verran valitsemalla reseptiin itsestään peseytyviä aineita, kuten valkoisena väriaineena käytettyä titaanioksidin muotoa - anataasia. Itsestään peseytyvyys tarkoittaa sälle altistuneen pinnan jatkuvaa hallittua hidasta rapautumista. Rapautumisen käyttäytymiseen voidaan vaikuttaa myös huolellisesti valituilla suhteellisen pehmeillä täyteaineilla, joista kalkki, liitu ja dolomiitti ovat esimerkkejä.

Ominaisuuksista

Kuumamassa on pitkäikäinen. Pitkäikäisiä ovat myös tietyt kylmämassasovellukset. *Pitkäikäisyys* on suhteellinen käsite eikä välttämättä tarkoita kulutuskestävyyttä. Kylmämassojen kohdalla pitkäikäisyys tarkoittaa hyvää kulutuskestävyyttä ja näkymistä, mutta kuumamassojen kohdalla joko hyvää kulutuskestävyyttä tai näkymistä niin kauan kun merkintää on jäljellä. Tämä joko/tai -asetelma on vastakohta-asetelma ja merkinnän tilaajan on päätettävä mitä se massalta haluaa. Nykyisessä tuotekehityksessä on havaittavissa selvä periaate-ero aikaisempaan nähden ja se on kahden rinnakkaisen perusvaatimuksen ihannetilän saavuttaminen. Massoille pyritään saamaan mahdollisimman pitkä elinikä ja sille ajalle hyvät näkyvyysominaisuudet. Valitettavasti kehitys tapahtuu aina jomman kumman perusominaisuuden kustannuksella. Työ on hidasta ja vaikeaa, mutta edistystä tapahtuu koko ajan. Tämä tarkoittaa, että tilaajalla on käytännössä kolme vaihtoehtoa: hyvin kestävä ja huonosti näkyvä, nopeasti kuluva ja hyvin näkyvä sekä kompromissi. Hintaeroa näillä kolmella ei välttämättä ole laisinkaan.

Valaistaan vielä kuumamassan erilaisuutta vertaamalla sitä kylmämassan ominaisuuksiin. Kylmämassa ei enää muuta olotilaansa sen jälkeen, kun se on kovettunut. Kun auringossa asfaltti merkinnän alla lämpenee ja pehmenee, kylmämassa lämpenee muttei pehmene. Kuumamassa tekee kumpaakin. Kun asfaltti lämpimässä liikkuu, myötäilee kuumamassa liikettä, kylmämassa ei. Oletetaan, että kuumamassa sisältää helmiä ja se on tehty alati uudistuvaksi. Jos tässä vaikkapa sirotepinta epäonnistuu, tulee esisekoitetut helmet esiin jonkin ajan myötä ja merkinnän näkyvyys paranee. Tapahtuma ei ole luonteeltaan samanlainen kylmämassoilla. Kuumamassan heikoimman lenkin pitäisi olla sideaine, mutta kylmämassalla se on lasihelmi.

Äskeisessä on pyritty vertaamaan kuuma- ja kylmämassan periaatteellista eroa. Kuumamassa tehdään kuluvaksi ja sitä kautta näkyväksi, kylmämassa kestäväksi ja alussa saadun hyvän näkyvyyden pitäjäksi.

Kuumamassan ominaisuudet ovatkin paljon riippuvaisia merkinnän tarkoituspieristä ja sille asetetuista vaatimuksista. Kun kylmämassan valmistus on marginaaleilla pelaamista, on se sitä yhtä paljon myös kuumamassan kohdalla. Erona on se, että kun kylmämassaresepti saadaan onnistumaan, on se suoraan riippuvainen levitystekniikasta. Kummankin on kehityttävä käsi kädessä ja sovittava saumattomasti yhteen. Näin ei ole kuumamassojen kohdalla. Voidaan sanoa, että kuumamassat ovat ns. avoimia tuotteita. Kuumamassojen eduksi voidaan mainita myös se, että kuumamassoista saa erilaisia muunnoksia eri tarkoituksiin. Tästä esimerkkinä ovat eri maihin ja ilmastoalueille valmistettavat tyypit ja laadut.

Ongelmia kuitenkin on. Kuumamassojen näkyvyys on ollut kaikkialla ongelma pitkään. Oletetaan, että tiemerikinnän tulee täyttää tienkäyttäjän kannalta kaikki

neljä toiminnallisuuteen vaikuttavaa ehtoa: väri, kitka, näkyvyys päivällä ja yöllä, näistä kolme viimeistä sekä kuivalla että märällä kelillä. Silloin massasta on tehtävä sellainen, että koko sen olemassaolon aikana asetetut ehdot täyttyvät; merkinnän on kuluttava niin, että helmiä on jatkuvasti esillä, värin on oltava vakaa ja pinnan pysyttävä karkeana.

"Oikein" valmistetun ja levitetyn kuumamassan paluuheijastuvuusarvot laskevat ja nousevat. Ensin lähtee pois pintasirote, jonka jälkeen massan pintakerroksen tulee kulua, jotta pintaa lähellä olevat helmet tulisivat riittävästi esiin. Kun massa edelleen kuluu, ei se enää pysty sitomaan helmiä, jolloin nämä irtoavat. Taas on odotettava, että sisempänä olevat helmet tulisivat esille. Tämä on ihanne, johon kaikki massan valmistajat pyrkivät. Valitettavasti on todettava, että edellämainittu käyttäytyminen on kaiketi enemmän teoriaa kuin todellisuutta ja sen todentaminen on hankalaa. Mittauslaitteet, menetelmät ja olosuhteet eivät ole riittävän absoluuttisia. Toisekseen sää- ja valaistusolosuhteet, tien pinnan karkeus, rakenne ja liikenne vaikuttavat muuttuvina tekijöinä niin paljon, että vertailevia tuloksia on vaikea saada aikaiseksi.

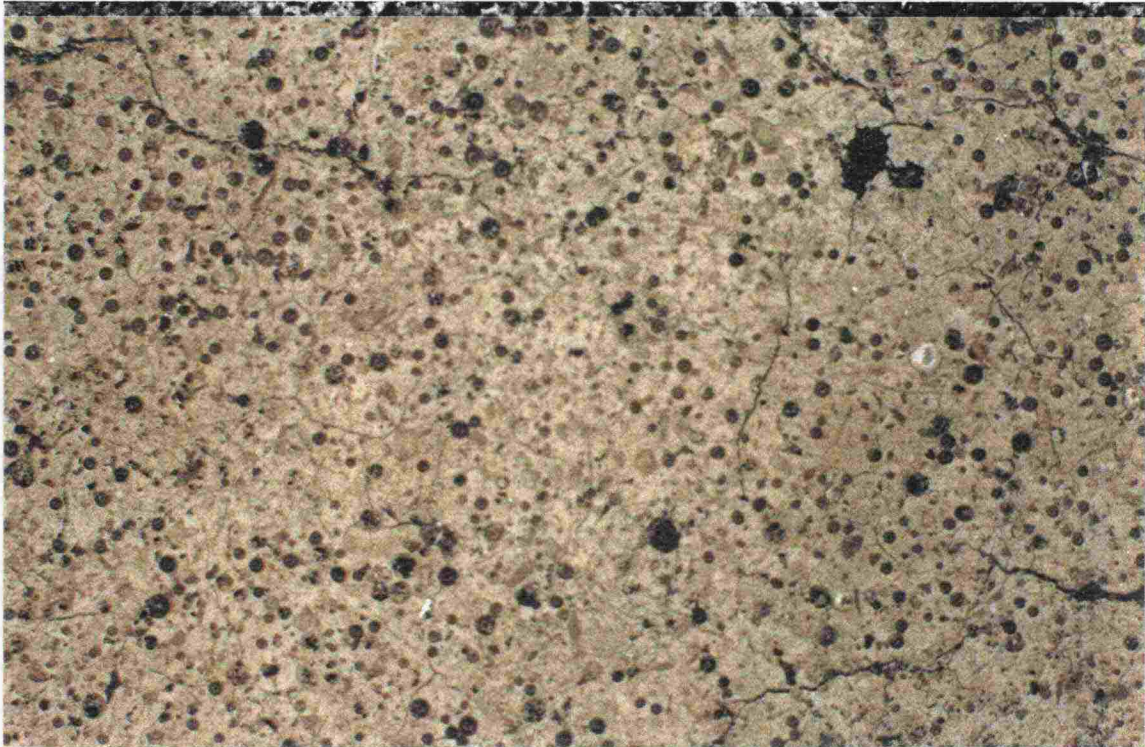
Sideaineen kuluvuus riippu vallitsevasta lämpötilasta, koska massa elää lämpötilan mukaan. Pehmenemislämpötilasta tulee kriittinen, kun asfaltin lämpötila lähestyy 60 °C:sta. Pehmeässä massassa olevat lasihelmet painuvatkin massan sisään, joka ei ole tarkoitus vaikkakin helmien suhteellinen osuus massassa kasvaa. Merkinnän näkyvyys pimeällä on näin heikentynyt.

Lasihelmen pysyvyys massassa on myös ongelma. Asiaa on käsitelty tarkemmin kohdassa: *"Lasihelmet / Helmen kiinnittymisestä sideaineeseen ja lisää pinnoituksesta"*.

Perinteisesti kuumamassan kiinnittyminen tien pintaan perustuu sen bitumia sulattavaan vaikutukseen. Massan lämpötilan tielle levitettäessä tulee olla ehdottomasti yli 180 °C ja korkeintaan 230 °C. Normaalisti levityslämpötila on yleensä noin 200 ... 220 °C. Padassa massan lämpötila on 230 °C. Kuumamassan tulee siis kyetä sulattamaan asfalttia niin, että massa ja mastiksi yhtyvät. Lämpötila ei saa nousta niin korkeaksi, että massaa muuttuu ruskeaksi. Kiviaineksen ympärille massa valuu ja pysyy kiinni adheesiovoiman takia, kuroutumista tuskin tapahtuu. Kiinnittymismekanismi on suunniteltu vain asfaltteja varten ja siksi betoni on kuumamassalle täysin vieras ympäristö. Siksi tässä käsitelläänkin kuumamassoja vain asfaltin kannalta katsottuna.

Kuumamassan olemassaolo tien pinnassa vaatii sekä tarttumista että kiinnipysymistä. Tarttuvuutta ja kiinnipysymistä ei saa sekoittaa keskenään. Ne ovat kaksi kokonaan eri asiaa. Oikea lämpötila yksin - vaikka onkin oleellisin edellytys tarttuvuuden kannalta - ei vielä takaa massan tarttuvuutta ja/tai kiinnipysyvyyttä alustaansa. Siihen liittyy muita reseptiikan mukanaan tuomia ominaisuuksia. Muun muassa nämä kaksi asiaa ovat valmistajakohtaisia liikesalaisuuksia. Tarttuvuutta ohjataan erilaisilla kemikaaleilla, sideaineen ainevalinnoilla ja kaikkien aineiden seossuhteella. Se, että massa tarttuu alustaansa ei takaa sitä, että se pysyy kiinni ja on siinä vielä vuoden kuluttua. Levite voi joko hilseillä tai lohkeilla suurina paloina.

Levitteessä saattaa esiintyä hiushalkeamista ja verkkomaista lohkeilua jo muutaman viikon kuluttua levittämisestä. Hiushalkeaminen on luonnollista. Mikäli lohkojen pinnat eivät käpristele ja levite pysyy kiinni alustassa, ei asiasta tarvitse huolestua. Syynä voi olla massan liian suuret sisäiset jännitteet tai asfaltin luontainen liikkuminen. Halkeamat eivät kuitenkaan haittaa massan toimivuutta eikä edistä kulumista, vaikka likaa kertyykin rakosiin. Halkeilu on myös paljolti kiinni suoja-aineiden määrästä. Mitä alhaisempi määrä suoja-aineita massassa on, sitä rajumpi halkeilu on. Massan valmistaja lisää suurimman osan suoja-aineista, mutta osa niistä tulee hartsien ja polymeerien mukana.



Kuvassa (1:1) kuumamassaa, jossa luonnollista hiushalkeilua.

Värien puhtaus, esim. valkoisuus, on toinen tarkoin varjeltu tieto. Titaanioksidi on valkoisessa käytetty väriaine, mutta se yksin ei takaa massan värin puhtautta. Kuumamassoissa käytettävää titaanioksidia on kahta eri tyyppiä, joita mahdollisesti sekoitetaan keskenään riippuen siitä minkälaisia ominaisuuksia massalta halutaan. Anataasi kestää UV-säteilyä hyvin huonosti, mutta sillä on hyvä itsepeseytyvyys. Rutiili kestää hyvin UV-säteilyä, mutta peseytyy jokseenkin huonosti. Jos merkintä ei joudu liikenteen kulutuksen alaiseksi, kuten tilanne on esim. pysäköintiruudukoissa, voimakkaasti anataasia sisältävä massa kellastuu ajan myötä, mutta se uudistuu jatkuvasti. Titaanioksidin valinta näkyy hinnassa ja vastuuntuntoinen massavalmistaja ilmoittaa onko väriaine sekoite vai ei.

Euroopassa keltaisena väriaineena käytetään turvallisuussyistä orgaanista keltaista ja USA:ssa hintasyistä lyijykromaattia, joka on voimakas myrkky. Näiden kahden keltaisen väriaineen hinnan ero on huomattava. Lyijykromaatti on halpaa, mutta sitä kuluu paljon orgaaniseen keltaiseen verrattuna. Vaikka valmistuksessa käytettävät värit toimitetaan pastoina ja vaikka valmistushenkilökunta ei altistuisi aineille, niin kulutuksessa syntyneestä pölystä raskasmetallit siirtyvät luonnon kiertoon. Ongelmana orgaanisen keltaisen käytössä on sen värintoistokyky

paluuheijastuksessa. H4 halogenivaloissa keltainen näyttää enemmän valkoiselta kuin keltaiselta ja sille ei oikeastaan mahda mitään, ellei massan muutkin aineet ole keltaisia. Toinen ongelma keltaisella massalla on sen heikko rapautuminen tai peseytyvyys. Keltainen väriaine, oli se sitten millaista tahansa, ei peseydy. Siksi keltainen massamerkintä "kuolee" valkoista nopeammin.

Kaikesta huolimatta kuumamassat kestävät kulutusta kaiketi paremmin kuin mitkään muut materiaalit. Näin varmaan monesti on, yleistys on aivan liian karkeaa tasoa. Sekä kylmä- että kuumamassat ovat yksilöllisiä. Kuumamassatuotteilla on hyvin suuria keskinäisiä eroja, koska niitä valmistetaan eri tarkoituksiin. Yleistyksille on olemassa luonnollinen selitys: käytetty koneteknologia on keskenään verrannollista, massojen käsittelyperiaate ja niiden käyttäytyminen sulatuksessa ja levityksessä on poikkeuksetta samanlaista. Vasta lopputuloksessa on näkyviä eroja. Käytetyt menetelmät ja laitteet ovat yksinkertaisia. Perinteisesti kuumamassoihin on sitoutunut vähän teknologiaa. Kylmämassojen kohdalla tilanne on päinvastainen. Vasta spray-massatekniikka nosti kuumamassoihin sitoutuneen teknologian määrää ja monimutkaisti laitteistoa, mutta ei kuitenkaan sille tasolle, mikä vallitsee esim. orjapumppuja käyttävässä 2-komponenttitekniikassa.

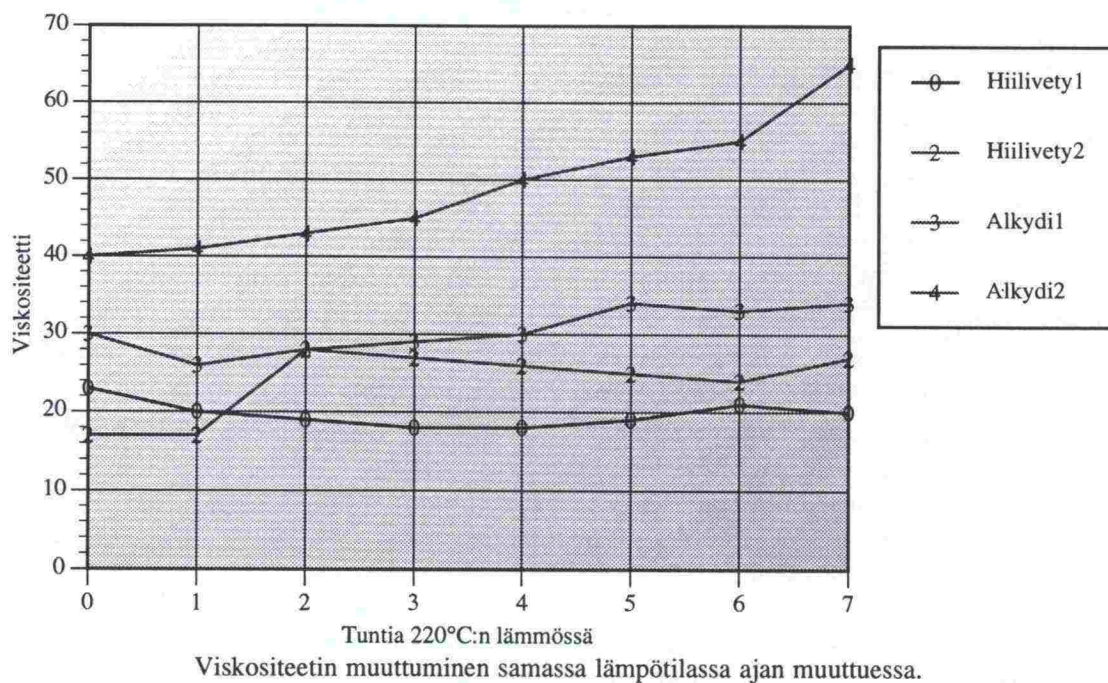
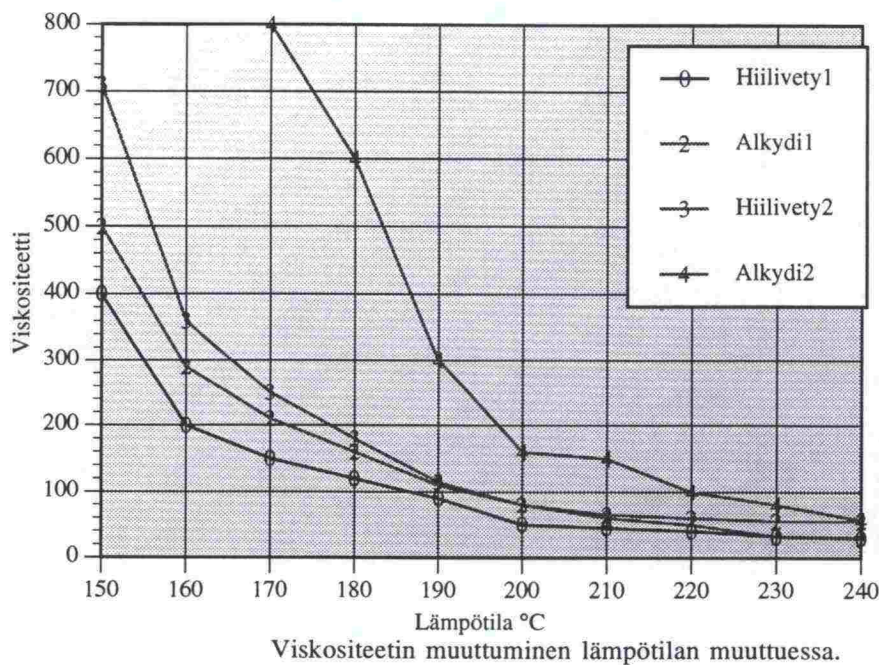
Käsiteltävyydestä ja kemiallisista ominaisuuksista

Massaa toimitetaan kahdessa olomuodossa: harkkoina tai pulverina. Harkko on massaltaan tasalaatuinen puolivalmiste. Se on pakattu joko muovikalvoon, styrox-laatikoon tai pahvirasiaan. Kahdessa ensimmäisessä tapauksessa pakkausmateriaali voidaan sulattaa harkon mukana, sillä niistä ei tule jäämiä tai muuten haittaa massan rakennetta. Pakkausmateriaalin osuudella ei ole merkitystä massan rakenteeseen tai koostumukseen reseptiikan kannalta. Jos pahvikartonki on pinnoitettu päästöaineella irtoamisen helpottamiseksi, on kartongin hävittäminen tapahduttava korkeassa kuumuudessa polttamalla. Toisekseen kartonki vie työkohteessa tilaa. Ja jos kartongit jätetään maahan, on ne työsuorituksen jälkeen kerättävä pois.

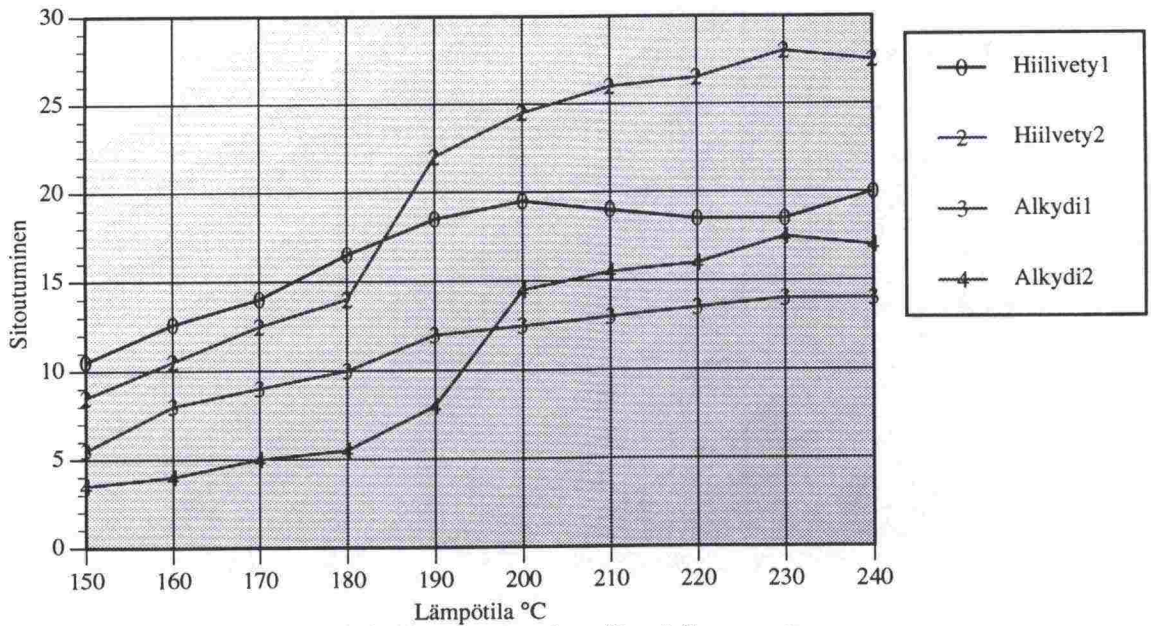
Pulveri on myös puolivalmiste. Se on kaikilta osin valmiiksi suhteutettu ja pakattu sulatettavaan muovipussiin tai kuution suursäkkeihin. Suursäkit ovat yleensä palautettavissa takaisin tehtaalte.

Pulveriin verrattuna harkkoihin on sitoutunut ylimääräistä energiaa, mutta sen osuus kokonaisenergian kulutuksen kannalta on häviävän pieni. Hinnan erokin on käytännössä merkityksetön. Suurimmat erot pulverin ja harkon välille syntyvät työn laadun takaamisessa ja joissakin tapauksissa lämmön sietokyvyssä. Pulverin sulatus vaatii miehistöltä hyvää ammattitaitoa. Kun massan lämpötila nousee 150 °C:een, on se jo sekoitettavissa. Pulveria sulatettaessa sitä tulee sekoittaa tarkasti ja ennen levitystä sen tulee olla ehdottoman tasalaatuista. Harkko on jo valmiiksi tasalaatuista. Jotkin pulverituotteet sulavat 170 °C:ssa ja kestävät 170 ... 210 °C lämpötilaalueella 5 ... 10 minuuttia ilman värimuutoksia. 170 °C on vielä liian alhainen lämpötila levitykseen. Harkko on yleensä suunniteltu kestämaan pitempiä kuumanaoloaikoja. Valkoinen massa kestää kuumana pitempiä aikoja kuin keltainen väri ja viskositeetin siitä paljoakaan kärsimättä. Seuraavassa on esimerkinomaisesti kuvattuna kahden eri valussa käytetyn kuumamassatuotteen käyttäytymistä lämpötilojen suhteessa. Kuvissa esitetyt tiedot perustuvat neljään eri tuotemerkkiin ja niissä käytetyt hartsit eivät ole uudenaikaisia. Oleellisinta onkin havainnollistaa, mitä kaikkea pitkä kuumanaoloaika voikaan massalle aiheuttaa.

Molekyyliarakenteen heikkeneminen pitkäaikaisessa kuumuudessa vaikuttaa myös massan kiinnittymisominaisuuksiin.



Viskositeetti heikentyy sinä aikana, minkä massa on kuumana. Lämpö katkoo molekyyliarakennetta. Väliaikaisesta jäähtymisestä huolimatta kokonaisaika on ratkaiseva, sillä jäähtyttyään massan molekyyli rakenne ei palaudu. Siksi lämmitettävän erän koko on suhteutettava oletettuun kulutukseen.



Kiinnityslujuuden muuttuminen lämpötilan muuttuessa.

Massan rakenteelliset ominaisuudet kärsivät täyteaineiden suhteellisen määrän kasvaessa. Lasihelmet voidaan katsoa kuuluvan täyteaineeksi. Jos helmien määrä painosta nousee yli 35%, massasta tulee heikkoa. Tilanne on toinen jos helmet laminoidaan sideainekerrosten väliin, kuten Aquaflex® menetelmässä tapahtuu.

Tekniikka, massa ja käyttö - keskinäisestä ohjausvaikutuksesta sekä vertailua

Levitystekniikka ohjaa massalaatua jossakin määrin ja ristiinsopivuus ei ole aivan yhteneväinen. Nykyiset valumassat yleensä soveltuvat ohueeseen ja normaaliin ekstruderi- ja laahainlevitykseen, mutta eivät spray-levitykseen kuiva-aineen suuren raekoon ja jakauman johdosta. Periaatteessa spray-massat soveltuvat kaikkeen levitykseen. Näissä kuiva-aine on hienompaa ja raekoon jakauma pienempi, jotta massan siirrossa ei tapahtuisi ikäviä yllätyksiä ja pistoolit eivät tukkeutuisi ja kuluisi. Näin teknisesti. Toiminnallisuuksissa esiintyy huomattavia eroavaisuuksia. Käytännössä 3 mm:n paksuiset spray-massat toimivat huonommin vastaavan paksuisiin valumassoihin verrattuna, mutta ohuiden levitteiden kanssa tilanne on toinen. Tämä edellyttää ehdottomasti, että spray-massa on todella hyvälaatuista ja että vertailu tehdään vain ja ainoastaan tiettyjen tuotemerkkien kesken. Siksi nyrkkisääntönä on, että erilaisten ominaisuuksiensa johdosta valu- ja spray-massoja ei voi verrata keskenään.

Spray-massojen tulee käyttäytyä hyvin ruiskutettaessa. Niiden tulee kiinnittyä hyvin alustaansa. Ohueeseen kuumamassalevitteeseen tulevat mekaaniset voimat kohdistuvat erilailla kuin paksuihin levitteisiin. Näistä syistä spray-massoissa sideaineosuus on suurempi ja ne ovat myös juoksevampia verrattuna valumassoihin. Juoksevuutta voidaan säätää myös käyttämällä samaa hartsityyppiä kuin valumassoissakin, mutta muotoa, jolla on alempi viskositeetti.

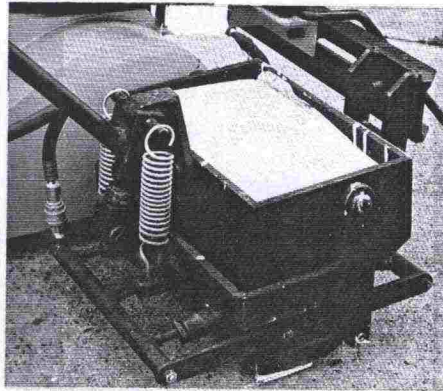
Massan pehmeys onkin jo sitten suhteellinen käsite. Suomalaisiin valumassoihin verrattuna spray-massa on kovempaa, mutta ruotsalaisiin ja norjalaisiin pehmeämpää. Syy suomalaisen massan liian suureen pehmeeseen löytyvät

kulutuskestävyyttä liian paljon korostavista vaatimuksista, jotka vinouttavat massan rakentamis- ja toimintaperusteita.

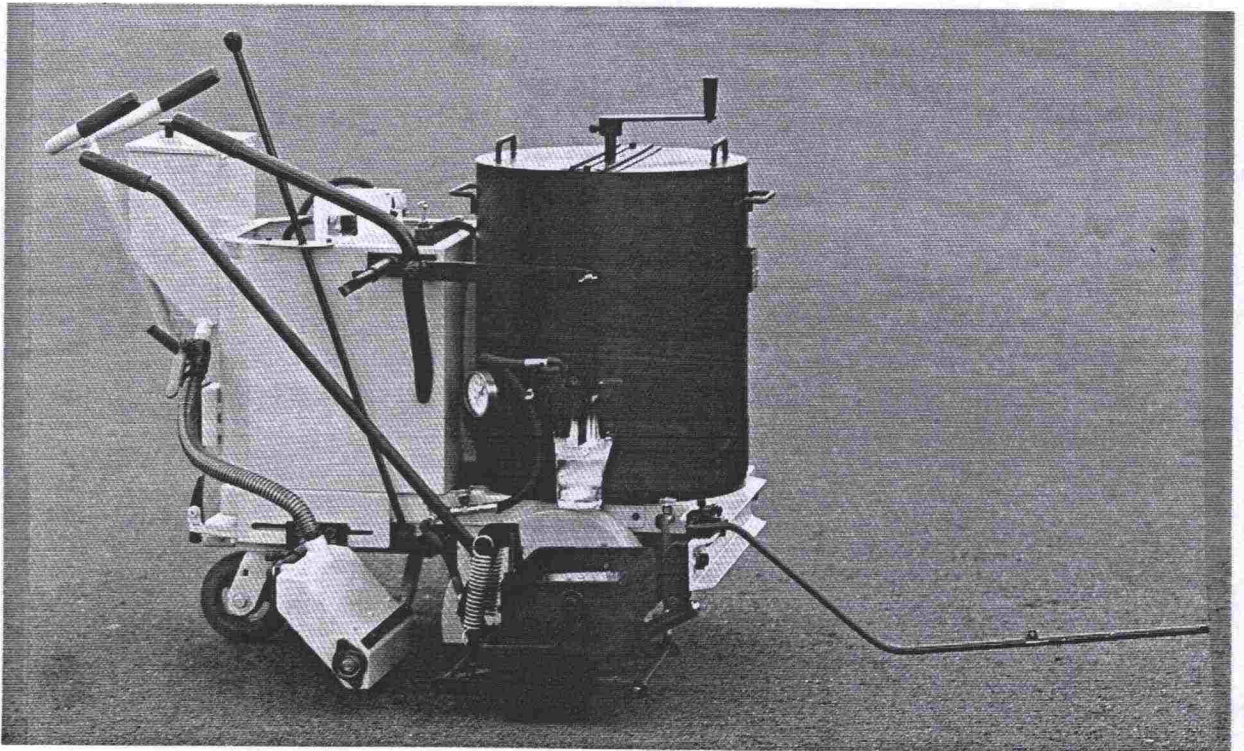
Kuumamassan levitepaksuuksia on periaatteessa kolme: 500 ... 1.200 μ voidaan katsoa ohuimpaan luokkaan kuuluvaksi. Tässä käytetään spray-tekniikkaa. 900 ... 1.500 μ kuuluvat selvästi ohutlevitteisiin. Ohutlevitettä ja perinteistä massamerkintää tehtäessä käytetään ekstruderij- ja laahaintekniikkaa. 1.500 ... 1.900 μ voi kuulua joko ohutlevitteisiin tai sitä seuraavaan luokkaan - perinteisiin massamerkintöihin. Varsinaisesti perinteisiin massamerkintöihin voidaan laskea 1.900 ... 4.000 μ paksut levitteet. Joissakin tapauksissa saattaa törmätä ilmaisuun "tehostettu merkintä". Tällä ei tarkoiteta levitepaksuutta, vaan näkyvyyteen vaikuttavien ominaisuuksien tehostamista esim. käyttämällä profilointia ja leventämällä viivaa.

Levitustekniikoista

Käsinlevitys



Käsilaahein (ns. kauha) ja alla olevan työntökärryn kaukalosta. Siinä kahvan yläosassa pieni laatikko on helmiä varten.



Kuumamassan levitys tapahtuu käsin laahaimella ja vaihtelevaa varustetasoa olevilla työntökärriillä. Itse vetävien koneiden kohdalla kaluston kirjavuus kasvaa erittäin suureksi, joten koneiden yksityiskohtiin kannattaa paneutua valikoiden.

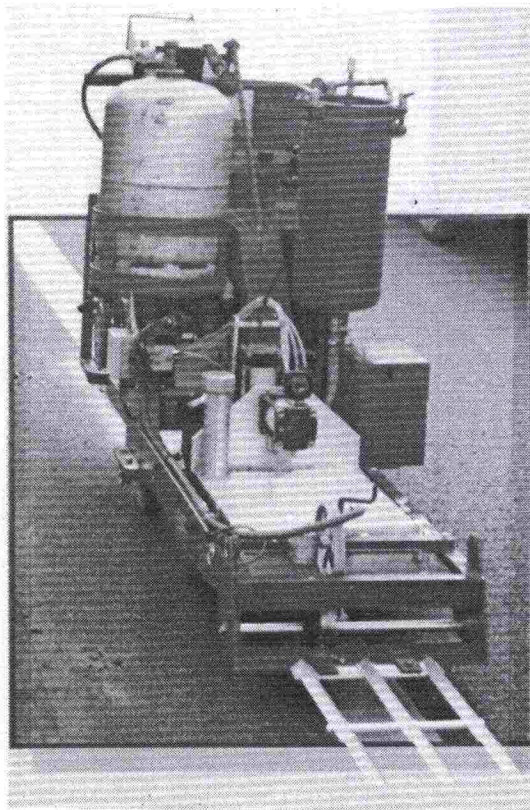
Pienimuotoisissa töissä, kuten suojateiden ja nuolien teossa, käytetään käsilaahaimia. Työntökärriä voidaan myös käyttää, mutta ne soveltuvat paremmin kapeiden viivojen tekemiseen edellistä suuremmissa määrissä. Pysäköintialuemerkinnot ovat hyvä esimerkki sopivasta kohteesta.

Lasihelmien sirotukseen tarkoitettua laitteistoa ei yleensä käsikoneissa ole tai jos on, ne ovat pieniä laatikoita, joista helmet valuvat omalla painollaan. Näitä laatikoita saattaa olla asennettuna kärriihin. Muutoin helmet ripotellaan siroteastiasta tai kylvetään vapaalla kädellä. Tällaiselta sirotteelta ei kannata odottaa muuta kuin sattumanvaraisuutta ja lyhytikäistä paluuhaijastuvuutta.

Käsinlevitys voidaan rinnastaa muottivaluun. Valoksen leveys on täsmälleen valuaukon levyinen. Tien pinnan muodot eivät vaikuta valoksen leveyteen eikä yläpinnan muotoon. Merkintää ei periaatteessa voi profiloida, mutta sen pinta voidaan käsitellä kuviolastalla. Laminointimenetelmiä voi periaatteessa toteuttaa rajoitetusti.

Laahaintekniikka

Itsevetävien koneiden rungot ovat yleensä erikoisrakenteisia tai kuorma-auton päälle tehtyjä ratkaisuja riippumatta siitä onko kyseessä ekstruderer tai spray-kone.



Vilkkastiliinnöidyillä alueilla vaaditaan pieniä laitteita. Myös yöllä kaupungeissa suoritettavat työt asettavat laitteistolle erityisvaatimuksia. Tässä ranskalainen ratkaisu.

Yksinkertaisimmillaan ja samalla halvimmillaan levityskoneessa on hyvin vähän teknologiaa sitoutuneena. Koneen runko on erikoisrakenteinen ja voimanlähteenä talousmoottori. Varustuksena voi vähimmillään olla lämpöä ylläpitävä pata, josta massa valuu vapaasti laahaimen. Täyttö tapahtuu erillisistä sulatuspadoista. Laahain on päältä avoin laatikko, jonka takaosan alareunassa on valuma-aukko massalle. Nimensä mukaisesti laatikko laahaantuu tien pinnan päällä. Menetelmä on yksi sovellus liukuvalusta. Helmet sirottuvat levitteen päälle vapaasti valuen.



Amerikkalainen patalavetti. Kukin pata vetää 2 tonnia.

Koneeseen voi asentaa laahaimen yhtä tai useampaa aukkoa säättävän elektronisen ohjausyksikön. Sekä padan että helmisäiliön alle voidaan asentaa vaakajärjestelmä, jolla seurataan massamenekkiä ja helmien määrää levitettyä yksikköä kohden. Patojen tulee tällöin olla pystyssä.

Tällä tekniikalla levitysnopeus vastaa kävelyvauhtia. Levitys saattaa keskeytyä massan tankkauksen ajaksi, ellei patojen lämmityskapasiteetti ole riittävän suuri sulatuksen kannalta. Muutoin massa kuumennetaan siirrettävän kaluston päällä olevassa yhdessä tai useammassa padassa.

Levitteen jälki on siisti ja päältä tasainen, koska massa täyttää kaikki tien pinnan raot ja peittää kiviaineksen. Tämäntyyppinen levitystekniikka tukee pitkäikäistä merkintää, mutta pinnan tasaisuuden takia merkinnän toimivuus on heikko.

Massan menekkiä ei tarkkaan tunneta, koska se riippuu pinnan karkeudesta. Vaikka laitteistoinvestointina laahaintekniikka on hyvinkin edullinen, tulee sen käyttö kalliiksi massan suuren kulutuksen takia.

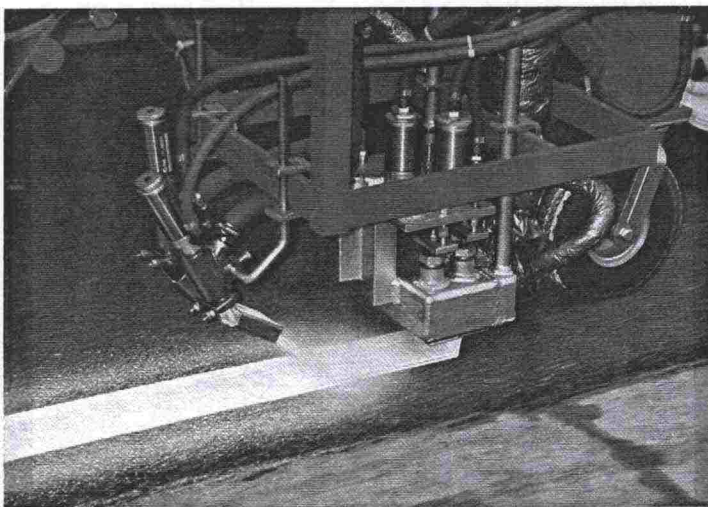
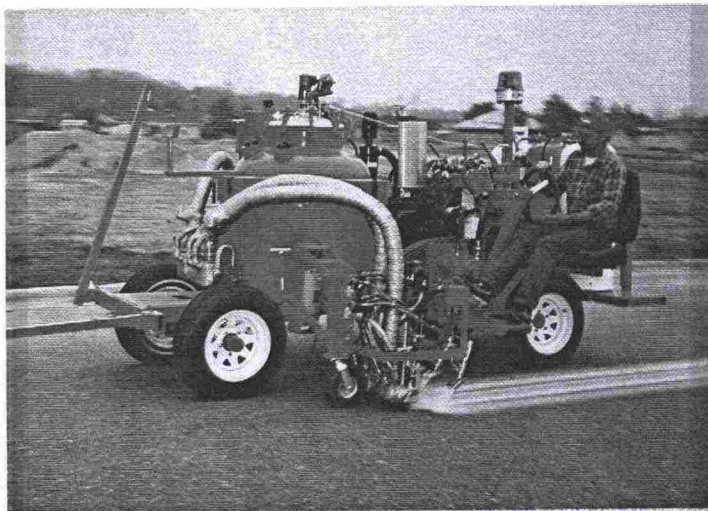
Kuten käsinlevitys myös laahaintekniikka voidaan rinnastaa muottivaluun. Valoksen leveys on täsmälleen valuaukon levyinen. Tien pinnan muodot eivät vaikuta valoksen leveyteen eikä yläpinnan muotoon. Merkintää ei voi profiloida vaakatasossa. Laminointimenetelmien käyttö ei onnistu.

Ekstruderitekniikka

Seuraava askel laahaavasta tekniikasta on ekstruderitekniikka. Siinä koneen runko, moottori, yksi tai kaksi pataa ja helmien sirottelu voivat olla samoja kuin laahaavassa tekniikassa. Erot ovat voimansiirrosta, massan siirrosta padasta ja

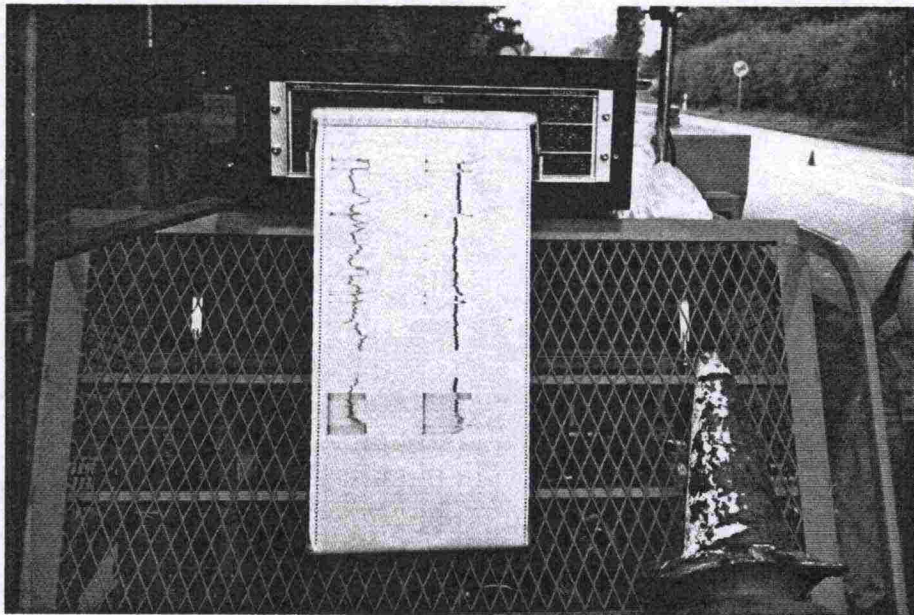
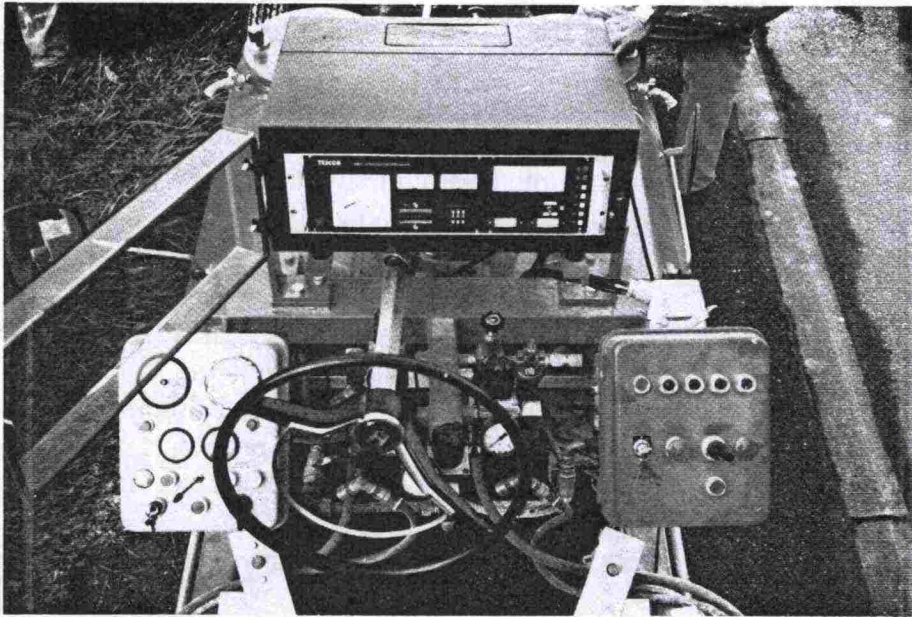
levityssuulakkeessa. Ekstruderitekniikka edellyttää tasaista voimansiirtoa ja erikoisrakenteisissa rungoissa se on toteutettu viskokytkimellä ja napamootoreilla. Ekstruderin voimansiirto oli monelle valmistajalle alkuaikoina ongelma ja nyt se on enää harvoille.

Ekstrudereri koostuu noin metrin mittaisesta kuumennetusta putkesta ja sen sisällä pyörivästä ruuvista. Ruuvin on pystyttävä pyörimään tasaisesti, että levitysjäljestä tulisi hyvä. Massa tulee ekstruderisiin joko suoraan padasta tai pumppaamalla. Viimeaikoina pumpputeknikka on kehittynyt ratkaisevasti. Niiden siirtonopeudet, -määrät ja etenkin toimintavarmuus ovat kasvaneet. Ekstruderista massa joutuu suulakkeeseen, jossa on tätä nykyä 4 ... 6 kpl 5 cm:n levyistä aukkoa, joita ohjataan ohjelman avulla. Näin levitteen leveys voi olla 5, 10, 15, 20, 25 ja 30 cm. Ohjausohjelmasta riippuen voi tämäntyyppisellä järjestelmällä tehdä suoria nuolia.



Amerikkalainen pumppaukseen perustuva ekstruderikone ja sen suutinyksikkö.

Levitysnopeus kalvopaksuudesta riippuen voi olla 8 ... 20 km/h. Levitteen jälki on tasalaatuinen. Massa valuu tasaisena nauhana rakoihin, mutta ei täytä niitä kokonaan, kuten laahainlevityksessä tapahtuu. Pinnaltaan levite on epätasainen, koska se myötäilee tien pinnan karkeimpia muotoja. Toiminnallisesti ekstruderilla levitetty massa on laahainlevitettä parempi.



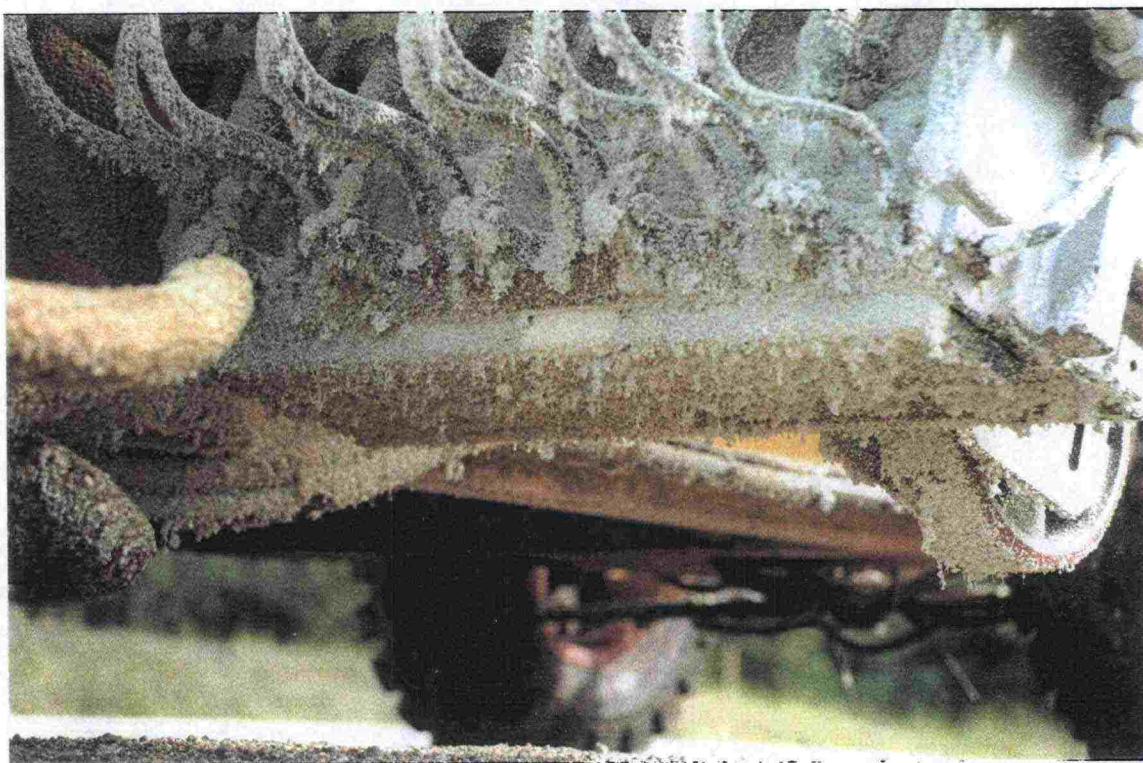
Massan ja helmien kulutusta varten voi asentaa vaakajärjestelmän. Tämä edellyttää pystypatoja.

Massan kulutus ekstruderitekniikalla on arvioitavissa suhteellisen tarkkaan, koska kulutus on vakio tien pinnan karkeudesta riippumatta. Vaikka investointina ekstruderer on huomattavasti kalliimpi kuin laahaintekniikka, on massan kulutus huomattavasti pienempää ja suoritetehto suurempi. Kummallakin on myönteinen vaikutus sekä hintaan että työ- ja liikenneturvallisuuteen.

Helmisirote joko putoaa vapaasti tai pienellä paineella merkinnän päälle. Annostelu on sattumanvaraista vapaasti pudotettaessa. Tuuli ja ajoviima ohjaavat helposti helmet muualle kuin mihin pitäisi. Pienellä paineella helmet sijoittuvat hyvin levitteen päälle, jos suulake tai pistooli on oikein asetettu. Koska tässä helmien määrää ohjataan paineella, on määrä vain arvioitavissa käytetyn määrän ja etenemän suhteessa. Ihannetulos saavutetaan käyttämällä annostelijaa, jossa on oma

etenemää mittaava pyörä. Annostelun asetannassa otetaan huomioon levitteen tilavuus. Helmet sirottuvat paineella.

Valupään aukot ovat 50 mm:n jaotuksella. Tasan 100 mm leveästä aukosta tulevan massan valujälki jää massan yksilöllisistä ominaisuuksista ja levityslämpötilasta riippuen vähintään 1 ... 2 mm suuaukkoa kapeammaksi. Massan viskositeetti vetää kalvoa kasaan voimakkaasti, vaikka valupää on vain muutaman millimetrin tien pinnan yläpuolella. Myös työnopeuden aiheuttama viima edistää nauhan kaventumista tuulesta puhumattakaan, jonka nopeus kapeassa raossa saattaa nousta vapaata tilaa suuremmaksi. Nauha noudattaa tien pinnan muotoja, joten absoluuttisesti tarkan leveyden saavuttaminen on täysin mahdotonta. Ekstruderiteknikka ei ole muottivalua. Merkinnän voi profiloida sekä pysty- että vaakatasossa. Laminointimenetelmien käyttö on mahdollista, joskin koneen runko- ja pataratkaisut saattavat asettaa rajoituksia.



Suomen Tielaitoksen spray-koneeseessa oleva ekstruderisuutin, joka on likaantunut spray-käytössä..

Spray-tekniikka

Spray-tekniikan lähtöajatuksena on, että merkintä tehdään kuumamassalla maalaamalla. Siksi tekniikkaan sitoutunut teknologia on hieman maalausta korkeammalla tasolla, mutta ei yhtä korkealla kuin joissakin kylmämassasovelluksissa.

Spray-tekniikan kehitys alkoi jo 70-luvulla, mutta kokeilut epäonnistuivat. Olenaisiin ongelmiin muodostui massoista ja silloin ei ymmärretty teknologian koko prosessille asettamia vaatimuksia. Käytettiin valumassoja, jotka eivät toimineet. Myös laitteistossa käytettävä tekniikka sisälsi lukuisia ongelmia, joiden ratkaisuun kului paljon aikaa. Vasta 80-luvulla pystyttiin ongelmat ratkaisemaan. Nykyiset spray-massat ja laitteet ovat toimivia ja luotettavia.

Koneet on rakennettu joko erikoisrakenteisille rungoille, jotka ovat periaatteessa samoja, mitä käytetään ekstruderiteknikassakin. Toinen tapa on käyttää kuorma-auton runkoa. Padoissakaan ei ole suuria eroja.



Suomen Tielaitoksen spray-kone ja kippaava kuljetusalusta.

Vaikka spray-laitteistossa onkin yksilöllistä kirjavuutta, periaatteita on kaksi ja kummatkin perustuvat maalaustekniikkaan. Ruiskutus tapahtuu joko hajoiteilmaa käyttäen tai ilmattomasti.

Ilmaton järjestelmä on kallein toteutus ja se perustuu suurpaineeseen, joka poikkeaa ruiskumaalauspuolen suurpaineratkaisusta. Pistoolit ovat tarkoitusta varten rakennettuja. Tähän tarkoitukseen eivät maalipistoolit sovellu ja koska markkinat ovat pienet, toimittajia on vähän. Levitteen jälki on suhteellisen siisti, mutta esteettisesti ei samaa tasoa kuin laahaimella tai ekstruderilla. Jälki ei poikkea maalatusta pinnoitteesta; reuna jää harsomaiseksi. Kuten maalauksessakin, mitä suurempi nopeus, sitä harsomaisempi reuna.

Lasihelmien sirottelu tapahtuu paljon korkeammalla paineella kuin ekstruderiteknikassa. Tässä helmen on painuttava massan läpi. Yleensä käytetään tarkoitusta varten suunniteltuja pistooleja.

Helmien sirottelu ei ole yhtä yksinkertainen asia mitä muilla tekniikoilla on. Sirottelutoteutusta on lähdettävä purkamaan taakaapäin seuraavasti: mikä on levitettävän massan lämpötila sillä hetkellä, kun se iskeytyy tien pintaan? Myös levitteen paksuudella ja ruiskutustekniikalla on merkitystä.

Tarttuakseen kunnolla ja muodostaakseen pysyvän sidoksen tien pintaan, tarvitsee massan olla riittävän kuuman riittävän kauan. Jos ruiskutustekniikka käyttää hajoteilmaa, tulee sen olla esilämmitettyä, jotta ilman jäähdytysvaikutus olisi mahdollisimman pieni. Asfaltin lämpötilaakaan ei saa unohtaa. Kun levite on

pinnan muodostukseltaan ekstruderilevitettä paljon epätasaisempi, on sen pinta-ala hyvin laaja. Sirotehelmi kasvattaa levitteen pinta-alaa entisestään ja sen jäädyttävä vaikutus on varsin merkittävä. Massan lähtölämpötilasta, levitepaksuudesta ja mahdollisesti asfaltin kulloisesta lämpötilasta riippuu esilämmitetäänkö sirotehelmet vai ei. Helmillä voidaan ohjata massan jäähtymistä periaatteessa miltei samalla tavalla kuin kylmämassoillakin. Helmien liika-annostus saattaa haurastuttaa massaa.

Spray-levitteen jäähtyminen on kriittisempi tekijä verrattuna paksumpiin levitteisiin. Jäähtymiseen vaikuttavat hajoteilman, helmien, vallitsevan sään ja tien pinnan lämpötilat sekä ajoviiman nopeus.

Vaikka spray-massat sietävätkin ekstruderimassoja enemmän helmiä, on niilläkin rakenteellinen yläraja. On nimittäin muistettava, että spray-massassa on esisekoitettuja helmiä painosta noin 20%. Spray-pintaa ei saa kyllästyä helmillä samalla tavalla mitä ohuiden kylmämassojen kohdalla tapahtuu. Spray-levite ei kestä murtumatta sellaista määrää.

Toiminnallisesti spray-levite on erinomainen verrattuna muihin kuumamassalevitteihin. Tämä on selitettävissä ensinnä sillä, että levitteen pinta on karkeampi, kuin muiden massateknikoiden ja takaa näin mahdollisuuden hyville näkymisominaisuuksille. Toinen syy on levitteen ohut kalvopaksuus ja massan sisällä olevien helmien pistäminen esiin. Jos kalvon paksuus on esim. 750 μ :tä ja helmisekoitteen ylin raekoko on 800 ... 1.000 μ :tä, niin helmeistä on jo valmiiksi esillä 6 ... 25% ja toimivan helmen tulee olla esillä 60%. Kolmanneksi spray-levite ei tuki karkeita kiviaineksen välisiä rakoja, joten sillä on suurempi mahdollisuus selviytyä toiminnallisena pitempään kuin pinnaltaan tasaisemmalla, mutta paksummalla levitteellä. Neljäntenä on massan levitteen kuluminen samassa tahdissa näkymisominaisuuksien kanssa.

Spray-merkinnän leveys säädetään nostamalla ja laskemalla pistoolia. Koska kyseessä on maalaus, on merkinnän leveyttä tarkasteltava maalausmenetelmien mukaisesti. On hyväksyttävä se tosiasia, että reunat jäävät aina harsomaisiksi. Harsoontumiseen vaikuttavat massan yksilölliset ominaisuudet, lämpötila/viskositeetti -suhde, ajoviima, tuuli ja pistoolin puhtaus. Merkintää ei voi profiloida. Laminointimenetelmien käyttö on mahdollista

Upotusmerkintä

Upotteeseen liittyviä asioita on kuvattu kohdassa "*Pinnan esivalmistelu ja merkintöjen poistamismenetelmät*".

Upotusmerkintä tehdään joko käsin laahaimella, kärryllä tai laahainkoneella. Ekstruderitekniikka soveltuu upotustöihin hyvin huonosti. Siinä hyvin usein merkinnän keskiosa jää näkyvästi reunoja alemmaksi. Uran tulee olla kuiva ja puhdas irtoaineesta.

Tavallisesti upotusmerkinnän pinta nousee 2 .. 3 mm tien pinnan yläpuolelle. Merkintä tehdään niin, että valo alkaa jyrityn uran takaa ja loppuu uran eteen. Uran ylitykset ovat muutaman millimetrin luokkaa.

Upotusmerkinnässä materiaalin tarttuvuus on hyvin harvoin ongelma, sillä merkinnän materiaalipaksuus on niin suuri, että valo ehtii sulaa yhteen mastiksin

kanssa ennen jäähtymistään uran pohjaan ja seinämiin. Toisekseen urassa ei ole tarttumista estäviä ylimääräisiä kemikaaleja. Kolmanneksi ura ankkuroi merkinnän paikalleen.

Helmien levitys hoidetaan samalla tavalla kuten kohdassa "Käsinlevitys" on kerrottu. Merkintä saadaan mittatarkaksi, kunhan käytetään käsi- tai laahainmenetelmiä. Levityksessä merkintää ei voida profiloida, mutta se voidaan tehdä jälkikäteen. Laminointimenetelmien käyttö on rajoitettua.

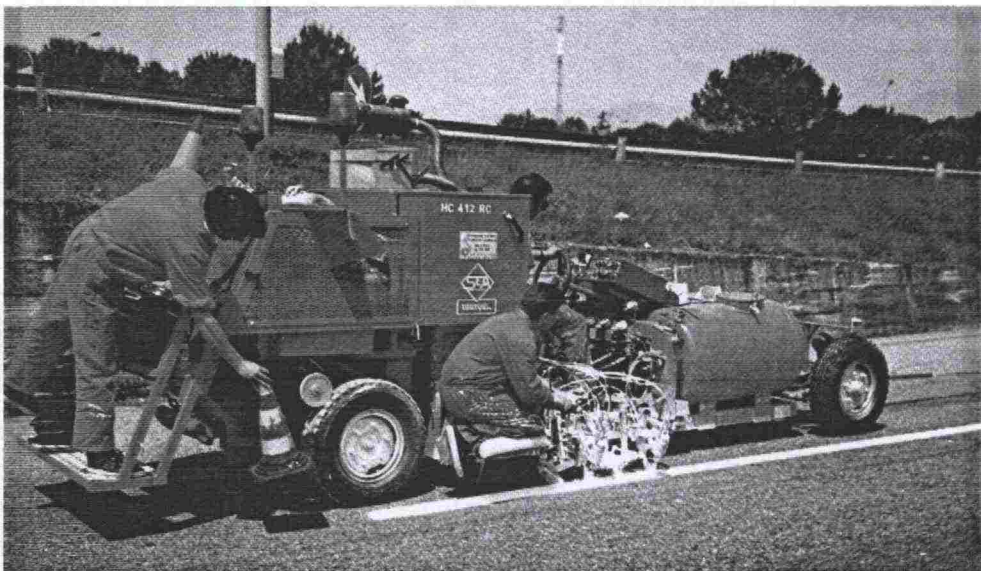
Laminointi

Laminointia käytetään ruiskutusmenetelmien yhteydessä. Materiaaleina voidaan käyttää mitä tahansa maalia, kylmä- tai kuumamassaa. Euroopassa kuuluisin laminointimenetelmä on Aquaflex®, jossa tienpinnan karheutta korostetaan materiaalikerrosten väliin ruiskutettavalla suurella lasihelmellä ja kiviaineksella.

Laitteisto soveltuu mille tahansa levityskoneelle. Aquaflex® -menetelmässä pistoolit on ripustettu sitä varten suunniteltuun telineeseen. Sideainepistoolit voivat olla mitä tahansa merkkiä, mutta profilointipistooli on Gamberin menetelmää varta vasten suunnittelema. Erikoista siinä on sen tukkeutumattomuus Aquaflex® -materiaalia käytettäessä. Sekoitteen tekee Sovitec.

Laminointi tapahtuu seuraavasti: ensimmäinen pistooli ruiskuttaa sideaineen, toinen profilintiseoksen, kolmas sideaineen ja neljäs sirotehelmen. Sirotehelmiseos sisältää paljon mikrohelmiä ja pistoolin tulee olla asiaan soveltuva ja tarkoin suunnattu.

Aquaflex® -pinta on erittäin tehokas kuivalla ja etenkin kostealla. Siinä levitteen heijastavan osuuden pinta-alaa on lisätty melkoisesti. Laminointi tekee profiloinnista lujan, joten merkintä ei heti murru liikenteen alla. Rakenteellisesti laminointi on monta kertaa homogeenista massarakennetta lujempaa. Aquaflex®:iä voidaan verrata lujitemuoviteknologiassa yleisesti käytettyyn Sandwich-rakenteeseen.



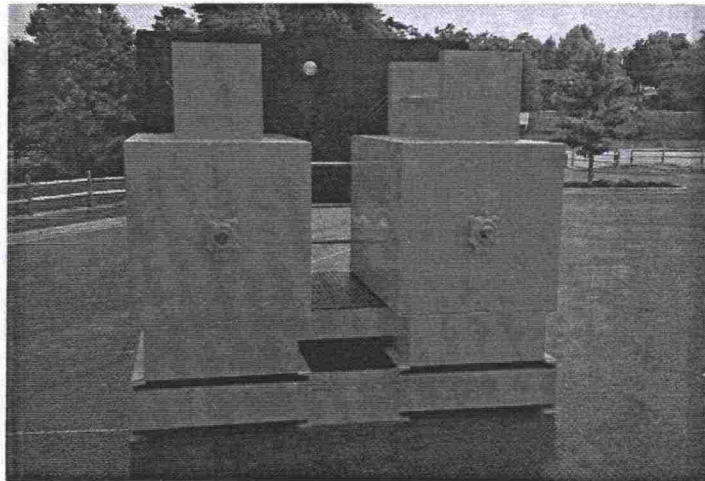
Kuvassa Aquaflex® -merkintään sovellettu kone. Telissä pistoolit sijaitsevat pareittain ja ne ovat suunnattu hieman toisiaan vastaan.

Kalustosta

Padoista

Pata voi olla joko teollisesti tai itse valmistettu. Syy miksi itse valmistetaan patoja, johtuu yleisimmin siitä, että patojen seinämäpaksuus halutaan suuremmaksi kuin mitä ne muutoin ovat. Näin kestoikä saadaan pitemmäksi. Itse tehtyjen patojen hyötysuhde saattaa jäädä jälkeen joidenkin teollisesti valmistettujen patojen vastaavista arvoista. Padan koko ja ominaisuudet määräytyvät käyttötarkoituksen mukaan. Levitystekniikka ei sinänsä aseta vaatimuksia padan ominaisuuksille, mutta padan kapasiteettiin tekniikalla on suora vaikutus. Kullekin värille on omat padat.

Nykyään kaikissa padoissa on öljyvaipat ja yleensä niissä on ylipaineventtiilit. Poikkeuksena ovat pienien käsikärrien padat, mutta niitä ei ole tarkoitettu massan sulatukseen vaan lämmön ylläpitämiseen lyhyitä aikoja. Padat yleensä asennetaan kiinteästi auton lavalle, peräkärryn ja levityskoneeseen. Pata voi olla myös varustettu akselilla, jolloin se itse toimii peräkärrynä. Levityskoneen kantavuuden takia suuritehoista pataa ei voida käyttää, vaan padan lämpökapasiteetti on mitoitettu vain riittävän lämmön ylläpitoon. Levityskoneessa olevan padan täyttö tapahtuu sopivin työrupeamin ränniä pitkin tai pumpaten. Valmistuksessa käytettäviin patoihin tässä ei puututa.



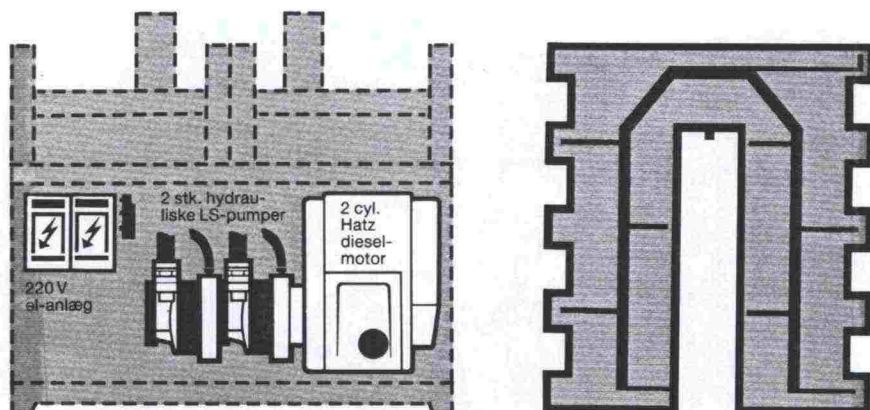
Kiinteästi lavalle asennettava kahden värin patayhdistelmä.

Patojen vetoisuus vaihtelee 150 ... 1.000 litran välillä ja niiden painot 300 ... 3.500 kg:n välillä. Lämmön tuottamiseen käytetään joko kaasua ja/tai kevyttä polttoöljyä. Öljy-polttimia voi olla kattilarakenteesta riippuen jopa kaksi ja öljyn kulutus poltinta kohti vaihtelee 4 ... 6 l/h välillä. Polttimet sijaitsevat aina padan alla ja tarvittavan sähkövirran tuottaa padan oma aggregaatti, joka antaa virran myös öljyn syöttö-pumpulle. Polttoöljyä varten voi olla oma tankki tai sitten syöttö on yhdistetty auton omaan polttoainejärjestelmään.

Padan valmiuslämpötila voidaan ylläpitää sähkövastuksella ja virran syöttö voi olla joko verkkovirrasta tai padan omasta aggregaatista.

Jotta massa sulaisi ja lämpenisi tasaisesti sekä pysyisi homogeenisena, täytyy sitä hämmentää jatkuvasti. Siksi pienissäkin padoissa on käsisekoittimet. Suurimpien patojen sekoittimet ovat joko hydraulisia tai mekaanisesti sähkömoottorilla toimivia. Sekoittimien rakenteeseen on syytä kiinnittää huomiota, ettei pitkään

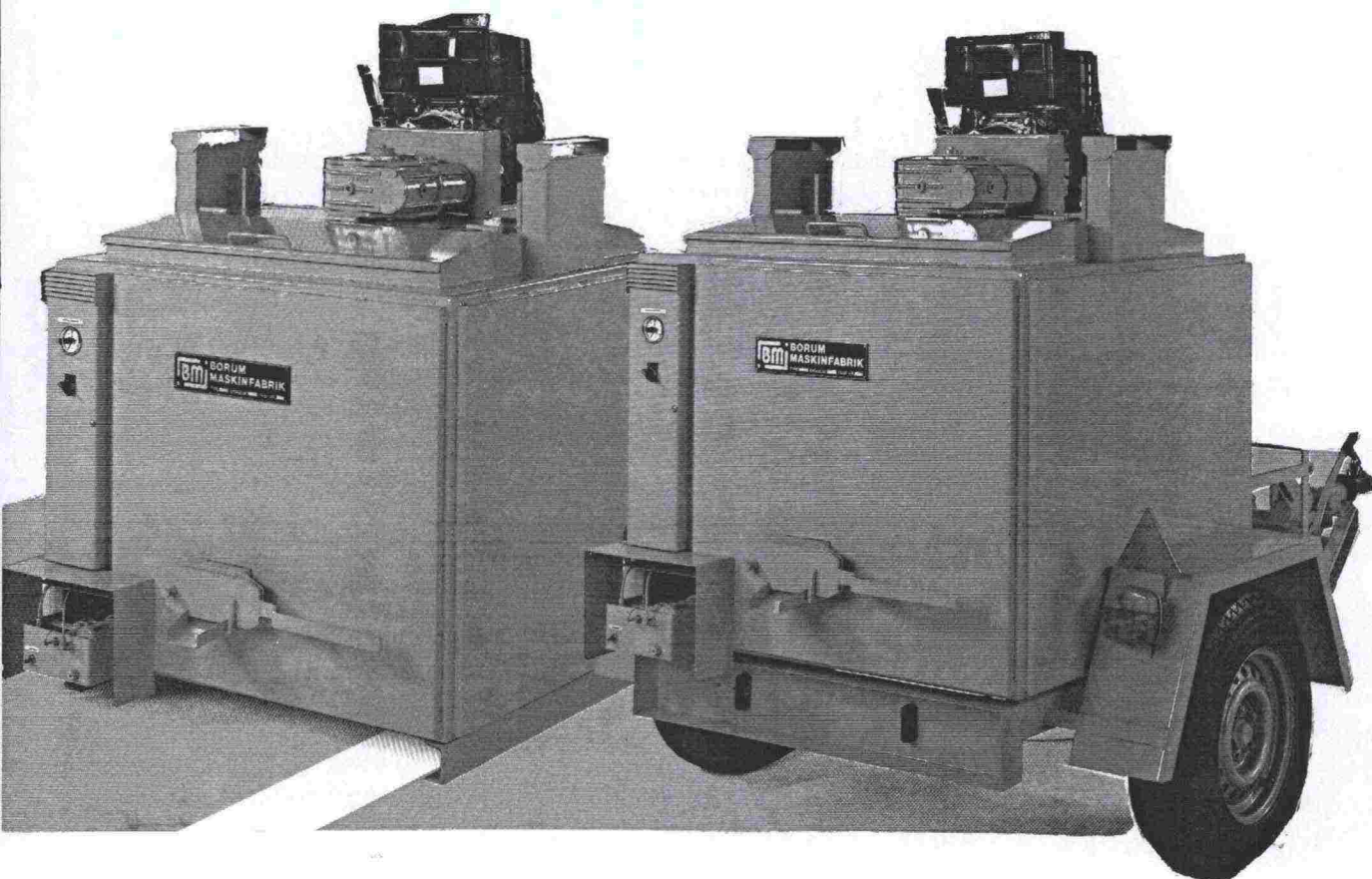
kuumana oleva massa pääse sakkautumaan padan pohjalle. Sakkautuminen on yleistä huonolaatuisilla massoilla.

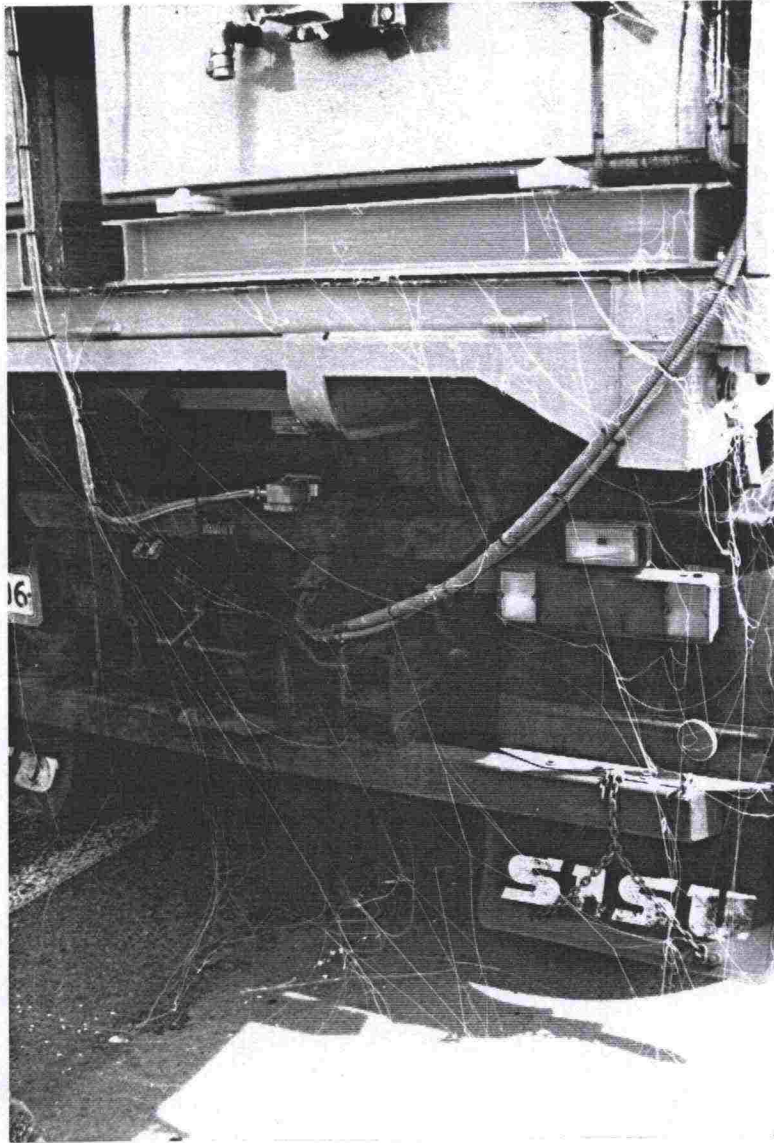


Padan pitkittäis- ja poikittaisleikkaus. Tehokkaat sekoitusseivekkeet vähentävät sakkautumisesta aiheutuvia ongelmia.

Kun käytetään harkkoja, voi siivekkeet vaurioitua helposti. Vaurioituminen voi tapahtua myös massaa uudelleen lämmitettäessä. On hyvä, jos sekoittimen nopeutta voi säätää. Tämä on mahdollista hydraulisekoittimilla.

Isommat, esim. 150 l ja sitä suuremmat padat, on varustettu öljyvaipan ja massan lämpömittareilla, jotka on yhdistetty termostaatteihin. Padat voidaan varustaa savukaasun poistoimurilla. On muistettava, että kuumamassan savukaasut ovat terveydelle haitallisia. Haitallisuus kasvaa mitä heikompi laatu on. Myös täytön roiskesuojia on saatavana useimpiin malleihin. Seuraavassa kuvassa sama pata lava-asenukseen ja omalla akselilla.





Jos täyttöluukut eivät ole tiiviitä, tiheä massa hiljalleen ja muodostaa tahmeata verkkoa tavan taakse. Alati kasvava verkko muodostuu haitaksi ensin työnteolle ja myöhemmin muulle liikenteelle.

Useissa Euroopan maissa patojen alle asennetaan vaakajärjestelmä. Vaaka on yhdistetty matkamittariin ja tieto suoritteesta siirtyy piirturiin, johon on yhdistetty myös helmitankin alla oleva vaaka. Piirturin tulosteesta voidaan seurata sekä massan että helmien keskinäistä levityssuhdetta. Tuloste toimii laadun valvonnan välineenä ja laskutusperusteena.

Helmitankeista

Kun helmet sirottavat vapaasti valuen, "tankki" voi olla vanerista tehty kannellinen laatikko, jonka pohja on kalteva reiän suuntaan. Kannen alle on yleensä sijoitettu poikkipuu, johon on kiinnitetty hain hampaita muistuttava teräslevy. Levyä vasten helmisäkki on helppo ja nopea rikkoa auki.

Yleensä helmet sirotellaan lievän paineen avulla ja silloin käytetään galvanoitua terästankkia. Kuumamassojen kanssa käytettävät esikäsitellyt helmet eivät toistaiseksi ole asettaneet vaatimuksia helmitankeille. Jotkin silaanit, adheesiota

editävät aineet, reagoivat veden kanssa ja tällöin paineilman tulee olla kuivaa ja tankkiin ei saa muodostua kondensivettä missään vaiheessa.

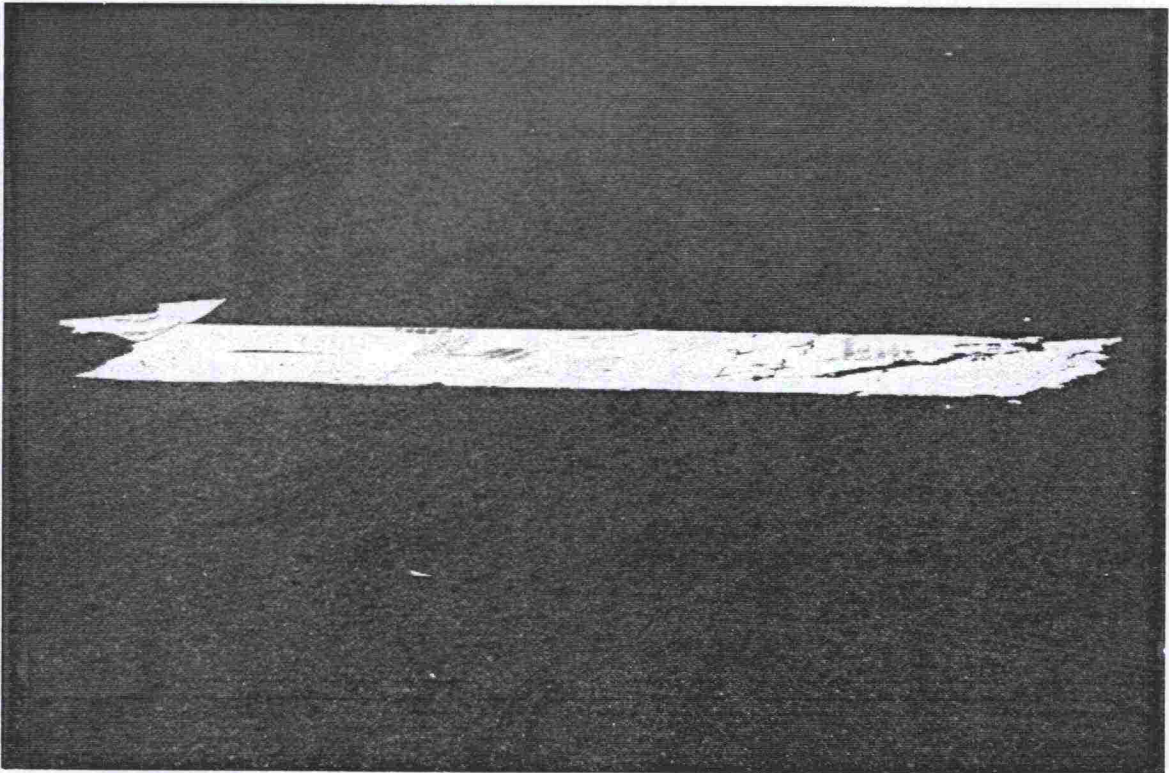
Katalyyteillä - peroksiedeilla - käsiteltyt helmet asettavat tankeille yksilölliset vaatimukset, mutta yleisesti ne eivät siedä metallin kosketusta ja etenkin ruostetta. Peroksidit voivat regoida rajusti veden kanssa. Siksi nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että valmistajan ohjeita on noudatettava ehdottoman tarkasti. Muutoin pahimmassa tapauksessa tuloksena voi olla räjähdys.

Teipit ja muut esimuotoillut materiaalit

Tiementänteippejä on sekä pysyviä että väliaikaisia merkintöjä varten. Niiden osuus maailmalla kaikista merkinnöistä on 2%.

Pysyvät teipit

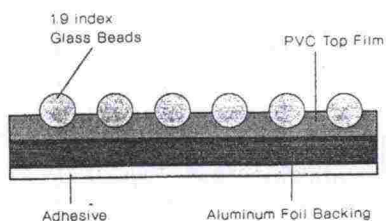
Pysyvät teipit ovat rullatavaraa ja niissä ei ole vahvistekudosta. Vanha hyvin asennettu teippi kestää jonkin verran auausta. Materiaalina teippi on hyvin pehmeä. Teipin leikattavuus on hyvä ja jälki on tasainen. Teippi on hyvin siistin näköinen ja vastaa näin huolella laskettua kuumamassaa. Mutta jos asennus on tapahtunut huolimattomasti tai se iän myötä luikertelee, on teippimerkintä ikävän näköinen ja aiheuttaa ärsytystä helposti. Luikerteleva merkintä menettää uskottavuutensa ja siitä ei välitetä.



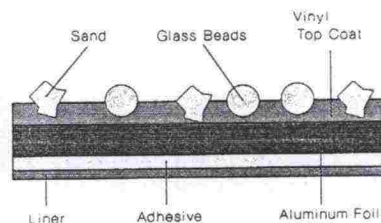
Tien pinnan lämpö ja jarrutukset/kiihdytykset saavat teipin luikertelemaan ja reipeilemään. Kuvassa pysäytysviiva.

Teipin kontrasti on hyvä, mutta se menettää paluuheijastuvuutensa jopa muutamassa viikossa. Syy paluuheijastuvuuden menetykseen on materiaalin pehmeys, josta seuraa kaksi asiaa: ensinnä helmet painuvat kalvon sisään. Toisekseen melto massa ei jaksa sitoa helmiä riittävän hyvin.

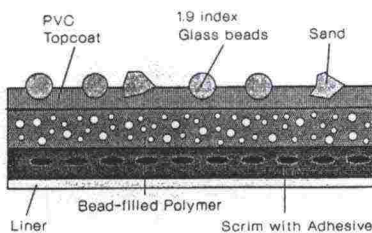
3M SCOTCH-LANE™ FOIL TAPE 5160
Non-Removable Construction Grade PM Tape



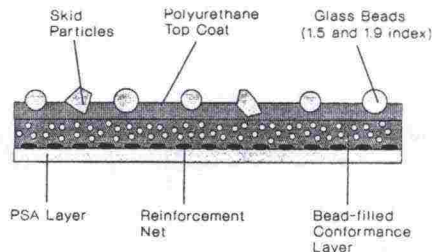
3M SCOTCH-LANE™ FOIL TAPE 5380/6380
Non-Removable Construction Grade PM Tape



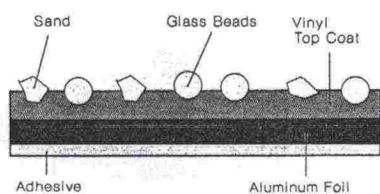
3M SCOTCH-LANE™ REMOVABLE TAPE 5710/6350



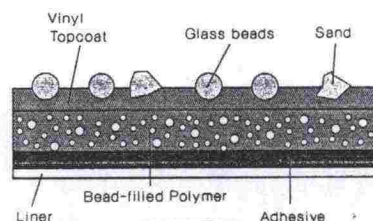
3M SCOTCH-LANE™ REMOVABLE TAPE 650 SERIES



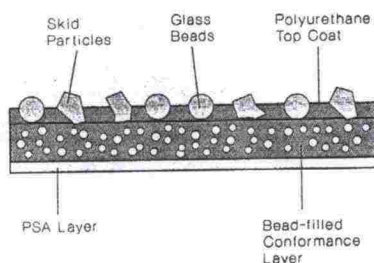
3M STAMARK™ TAPE 320



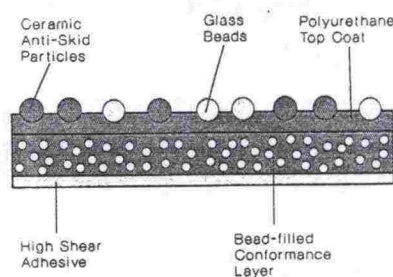
3M STAMARK™ TAPE 5790/6390



3M STAMARK™ HIGH DURABILITY TAPE 420
(Legnano)

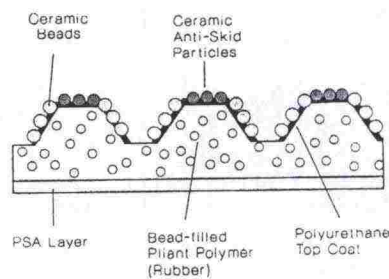
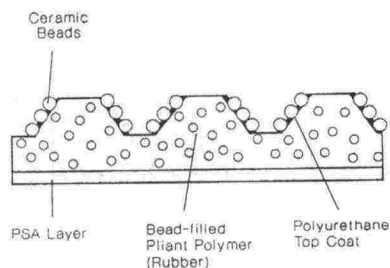


3M STAMARK™ INTERSECTION GRADE TAPE 440



Note: STAMARK 420 US has different skid particles and the polyurethane top coat is thicker and stiffer compared to the Legnano product.

3M STAMARK™ High Performance Tape 380 3M STAMARK™ HIGH PERFORMANCE TAPE 380SE



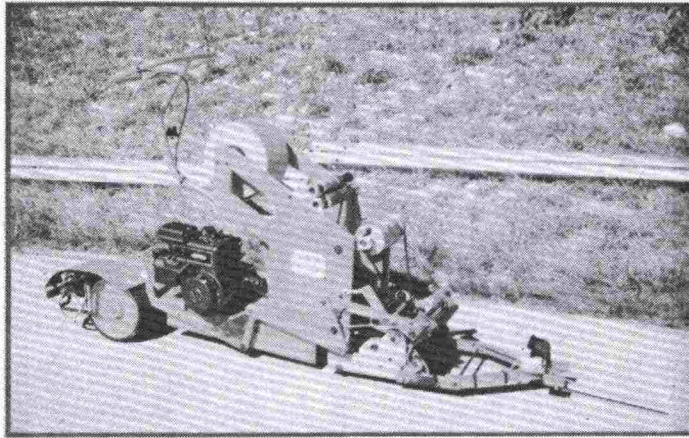
Eri tarkoituksiin tehtyjä 3M:n teippejä

Useimmiten teipit valmistetaan polyvinyylikloridihartsista - vinyylistä - johon sekoitetaan väriainetta, filleriä ja päälle sirotellaan lasihelmiä. Pysyvien teippien

paksuudet ovat noin 600 μ . Leveydet vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan 5, 10, 15, 38 ja 61 cm. Rullatavaran pituus vaihtelee suuresti.

Tavallisesti teippien takapuolella on suojakalvo, joka poistetaan asennuksen yhteydessä. Teipissä voi olla kiinnitysaine itsessään tai sitten sen joutuu esityönä levittämään joko erikseen ennen teipin asennusta tai asennuksen yhteydessä. Usein primerit on epoksia. Primereitä suositellaan käytettäväksi alle 3 kk vanhoille asfalteille. Primerit voidaan levittää käsin tai työntökärrystä. Primeri on itseasiassa liimaa, joka kuivuu 2 ... 8 minuutissa asennuskuntoon. Vanhat asfalttipinnat eivät tarvitse primerikäsittelyä, mutta betonipinnat aina.

Teippi voidaan asentaa käsin, käsintyönnettävällä tai itsevetävällä laitteella tai auton perässä vedettävällä kärryllä.



Kuvassa ranskalainen moottorikäyttöinen teipin kiinnityslaitte.

Kärryt ovat itseasiassa telineitä, joihin rullat on ripustettu. Teipit on välittömästi jyrättävä. Auton vetämä kärry sisältää hieman tekniikkaa. Siinä on pituusmittari, joka antaa impulssin teipin leikkurille. Kärryllä pystytään asentamaan myös katkoviivaa. Laite tunnistaa viivan pituudet ja välimatkat. Siinä on myös paineilman tai pakokaasun syöttö katkaistun teipin eteen. Ilmalla pyritään ohjaamaan katkaistun teipin pää asennustelan alle. Kärryn takimmainen osa on jyrätela. Jyrästä huolimatta suositellaan, että kuorma-auto ajaa vielä teipin päällä heti asennuskärryn jäljessä.

Teippi voidaan asentaa heti tuoreelle asfaltille sen ollessa vielä lämmintä. Silloin teippi tarttuu parhaiten ja muotoutuu hyvin pintaan. Asfaltin lämpötilan on oltava noin 45 °C. Näin asennettu teippi kestää pisimpään muissa olosuhteissa asennettuihin verrattuna. Muutoin tienpinnan tulee olla vähintään 21 °C ja mitä lämpimämpi pinta on, sitä paremmin teippi tarttuu ja muotoutuu. Kiinnittyäkseen hyvin teipin tulee muotoutua tienpintaan ja siihen tarvitaan monta kuumaa päivää ja paljon liikennettä jyräämään. Loppukesän asennukset pyrkivätkin sen takia epäonnistumaan.

Teipin asennus on tehtävä huolella. Sen on heti mentävä suoraan ja pysyttävä linjassa. Auton vetämässä asennuskärryssä on huolehdittava siitä, että katkaistu teipin pää lähtee kiinnittymään suoraan, muutoin esim. katkoviiva muistuttaa J-kirjainta. Koska teippi on merkintämateriaaleista kallein, on alustan esivalmistelu

välttämätöntä. Ajan myötä paljastuvat epäonnistumiset näkyvät teipin kiemurteluna ja repeilynä keskeltä jonkin aikaa asennuksesta.

Väliaikaiset teipit

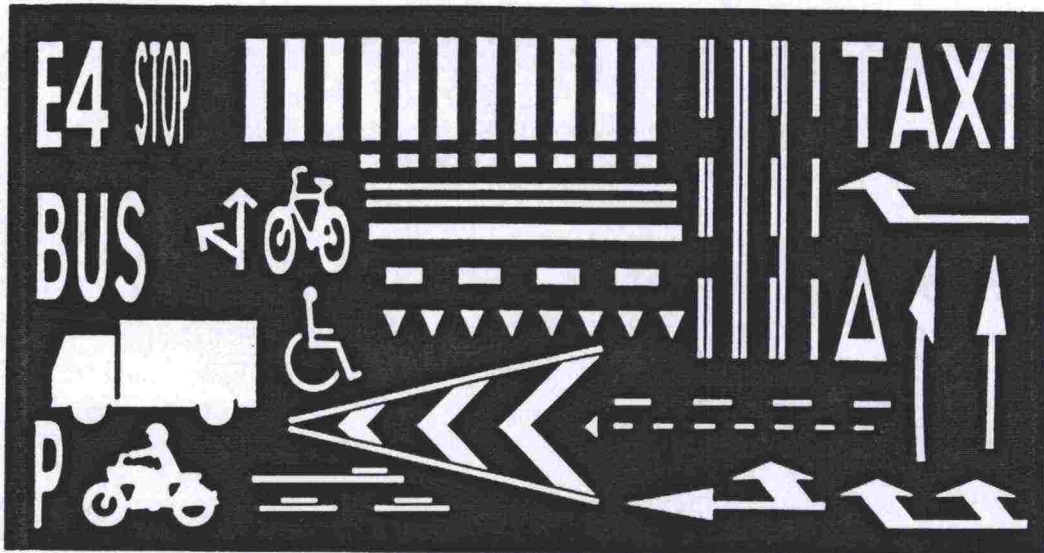
Väliaikaisissa teipeissä on sisällä vahvikekudos ja pohjamateriaalina lähes pääsääntöisesti alumiinifolio. Kummatkin materiaalit estävät teippiä repeytymästä, kun sitä poistetaan käsin. Teippien paksuudet vaihtelevat 600 ... 1.250 µ:n välillä.

Väliaikaisia teippejä käytetään kiertoteissä ja tietyömailla sekä erikoistapahtumissa liikenteen kanavoinnissa. Teippiä asennetaan sopivan lyhyinä pätkinä, jotta irrottaminen onnistuisi. Väliaikaisen teipin voi asentaa jopa käsin ilman muita työkaluja. Paikallaan teippi kestää hyvissä olosuhteissa noin 6 kk. Teippi kannattaa poistaa ennenkuin se rupeaa repeilemään.

Mustia teippejä käytetään merkintöjen väliaikaisessa piilottamisessa. Musta teippi ei kiillä tai heijasta ja sen pinta on käsitelty kitkaa parantavalla materiaalilla.

Kuumamassalevyt

Kuumamassamerkintämenetelmää täydentää kuumamassasta valmiiseen muotoon valmistetut pituussuntaiset merkinnät, muut merkinnät ja tunnuksot sekä levyt, joita voidaan käyttää merkintöjen korjaukseen. Tuotteiden laatu ja ominaisuudet eivät poikkea perinteisestä kuumamassasta. Ainevahvuus niissä on 3 mm.



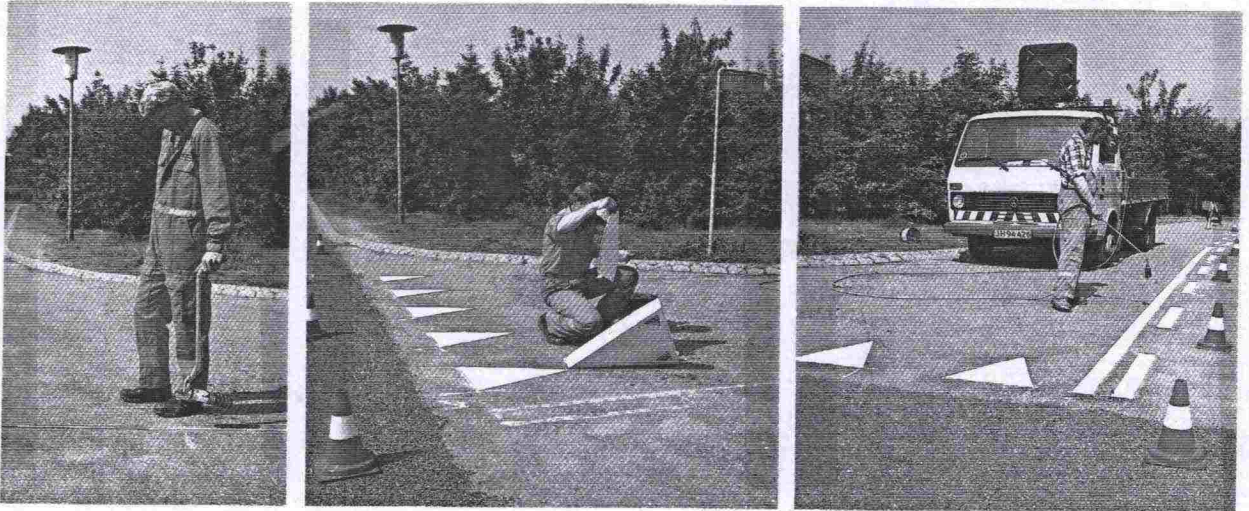
Valmiiksi muotoon valmistettuja tunnuksia.

Asennukseen riittää 1 - 2 henkilöä ja 1 auto. Varustuksena on puhdistusharja ja nestekaasupoltin.

Alustan on oltava kuiva ja puhdas. Kohteessa on hyvä olla esimerkintä. Tunnus asetetaan paikalleen ja merkitään liidulla tai esimerkintäruiskulla sille tarkka paikka. Tämän jälkeen suojakelmu poistetaan ja tunnus sijoitetaan lopulliselle kohdalle. Tien pinnan ollessa lämmin, tunnus yleensä tarttuu alustaan niin hyvin, ettei sitä enää voida siitä irroittaa. Siksi on tärkeää, että suojakalvo poistetaan juuri ennen lopullista kiinnittämistä.

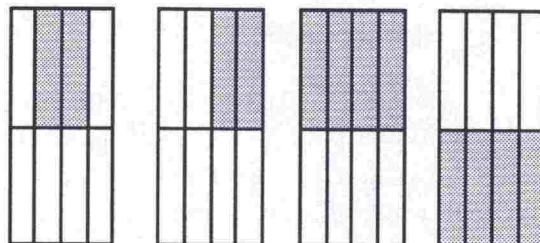
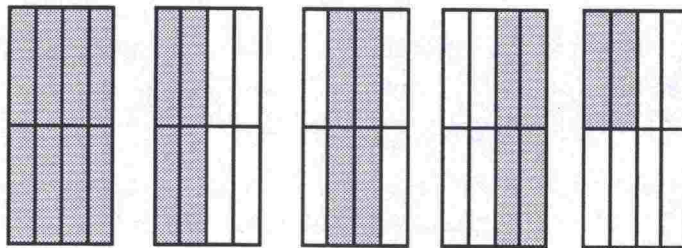
Tien pinta suositellaan lämmitettäväksi ensin. Kun tunnus on asennettu paikalleen, lämmitetään sitä nestekaasuliekillä kuljettamalla poltinta edestakaisella liikkeellä, kunnes pinta alkaa kuplia. Tällöin materiaali on kuumentunut kokonaan. Värisävy muutosten takia lämmittämisessä on varottava ylikuumentamista ja lämpökuorman kohdistamista yhteen paikkaan. Lämmityksen yhteydessä voi sirottelemalla lisätä lasihelmiä. Jos ilma on kovin lämmin ja kohde on saatava nopeesti liikenteen käyttöön, jäähtymistä voi edistää vedellä.

Pääsääntöisesti tunnukset ja ajokaistaviivat ovat molemmin puolin samanlaiset ja siksi niitä voidaan käyttää molemminpuolisina.



Kuvasarja asentamisesta vasemmalta oikealle: Alusta puhdistetaan huolellisesti harjalla, jonka jälkeen jokaisen tunnuksen paikka mitataan ja merkitään. Tunnukset sijoitetaan paikalleen. Kuumennus tehdään joko käsin tai vaunulla.

Lämmityksessä voidaan käyttää myös tarkoitusta varten erikseen suunniteltua vaunua ja joka soveltuu myös hyvin asfaltin korjaustöihin. Vaunua voi käyttää kaikilla säillä ja kaikkina vuoden aikoina. Se on valmistettu ruostumattomasta ja galvanoidusta teräksestä ja siinä on neljä kääntyvää pyörää, joista kaksi voidaan lukita haluttuun asentoon. Kummassakin päässä vaunua on työntöaisat, jotka voidaan irroittaa kuljetuksen helpottamiseksi.



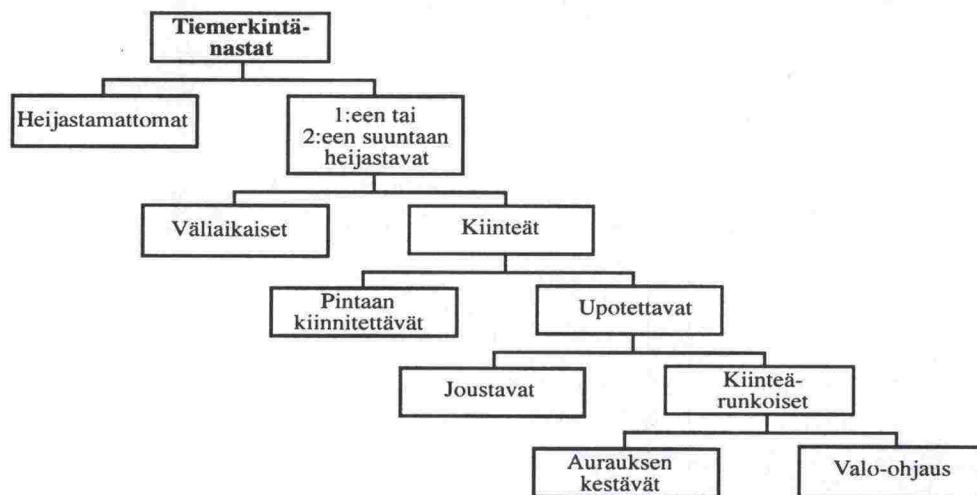
Kuvan tummat palkit osoittavat sytytettyt lämpösäteilijät. Kaikkia kahdeksaa säteilijää voidaan käyttää joko erillisinä tai yhdessä. Suurin lämmitysala on 60 cm * 152 cm ja pienin 15 cm * 76 cm. Vaunun kokonaispituus on ilman aisoja 185 cm ja 220 cm aisojen kanssa. Raideväli on n. 95 cm ja akseliväli n. 150 cm. Paino ilman pulloja on n. 100 kg.

Vaunussa on kahdeksan propanoolipoltinta ja infrapunasäteilijää sekä kaksi syttymisvarmistuksella varustettua säästöpolttinta, teline kahdelle 17 kg:n propanolipullolle ja letkuliitännöillä varustettu asetettava säädin. Kaikissa polttimissa on käsikäyttöiset sulkuventtiilit, joka antaa mahdollisuuden käyttää lämpösäteilijöitä vapaasti tarpeen vaatimalla tavalla.

Työskentely vaunun kanssa on nopeata. Esilämmitys myös märälle alustalle tapahtuu 2 minuutissa ja materiaalin lämmitys esilämmityksen jälkeen n. 20 sekunnissa.

Tiemerkintänastat

Tiemerkintänastat kiinnitetään päällysteeseen joko väliaikaisesti tai kiinteästi.



Kuvassa tiemerkintänastat on jaoteltu rakenteen ja osittain käyttötarkoituksen mukaisesti. Tämä poikkeaa CEN-normiehdotuksen jaottelusta. Joustavista nastoista on yritetty kehittää aurauksen kestäviä, mutta siinä ei olla toistaiseksi onnistuttu.

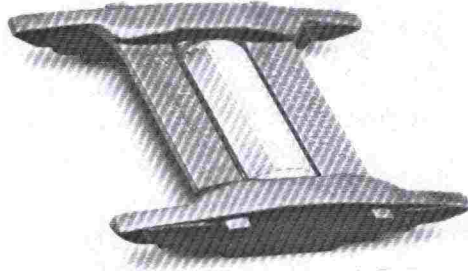
Meillä nastan pinnan yläpuolinen korkeus heijastamattomilla nastoilla saa olla korkeintaan 15 mm ja heijastavilla 25 mm. Muita ohjeita tai suosituksia ei ole, kunnes CEN:in ehdotus astuu standardina voimaan.

Tiemerkintänastoja on käytetty jo 50-luvulta lähtien muiden tiemerkintöjen sijasta. Myöhemmin niistä kehitettiin heijastavia tukemaan muita merkintöjä. Heijastamattomia nastoja käytetään USA:ssa yleisesti herätevälineinä teiden sivuilla ja sulkualueilla. Sama tehtävä on muiden tiemerkintöjen tehostuksen lisäksi myös kaistojen välissä olevilla heijastavilla nastoilla.

Talviolosuhteet Pohjoismaissa ja osittain myös Keski-Euroopassa ovat suoraan vaikuttaneet siihen, että nastat eivät vielä ole yhtä yleisiä kuin USA:ssa. Englannissa niiden käytöllä on perinteitä jo 60-luvulta lähtien. Ranskassa ja Espanjassa tiemerkintänastojen käyttö lisääntyy voimakkaasti. Ruotsissa kokeillaan laajamittaisesti tietyömailla väliaikaisnastoja, Norjassa upotettavia

lumiaurauksen kestäviä malleja ja Tanskassa useita eri tyyppisiä, myös lumiaurauksen kestäviä.

Tiemerkintänastojen pahimmat viholliset ovat tiehöylä, aura ja nastarenkaat. Tiemerkintänastoista on kehitetty myös aurausta kestäviä upotettuja malleja.



Aurauksen kestävä nastasta.

Upotettavat nastat ovat mahdollistaneet aktiivisen liikenteen ohjauksen laajentamisen myös tienpintaan. Heijastepinnan sijasta runkoon on asennettu yleensä punainen LED-rivistö ja valojen ohjaus voi tapahtua esim. etäältä valvontakeskuksesta.

Riippumatta tiemerkintänastan luonteesta ja kiinnitystavasta, ne parantavat suuresti liikenneturvallisuutta, ohjautuvuutta ja perillepääsyä. Liikenne sijoittuu hyvin ja pysyy paremmin kaistallaan ja virheellisten ajosuoritusten määrä vähenee. Joissakin tutkimuksissa on havaittu, että noin 1,15% ajoneuvoista ajaa keskiviivalla ja noin 3,5% kaistojen välissä olevien nastojen päältä. Kaistalle sijoittuminen on toisaalta huono asia teiden urautumisen kannalta.

Päivällä pinnan päällä olevien tiemerkintänastojen valo-ominaisuudet ovat heikot verrattuna maali- tai massamerkintöihin. Pienen pinta-alansa johdosta niiden havaittavuus on huono ja upotettuja ei juuri havaitse. Valoisana aikana niiden liikenteen ohjausominaisuudet eivät yllä samalle tasolle, kuin mihin maali- ja massamerkinnot. Nastojen heräteominaisuudet ovat erittäin hyvät. Pimeällä, sekä kuivalla että kostealla kelillä, nastojen erinomainen toiminnallisuus tulee hyvin esille. Sateella uuden nastan paluueijastuvuus laskee pinnalla olevan vesikalvon takia 25 ... 30%. Ne ohjaavat hyvin myös silloin, kun vastaan tulevaa liikennettä on paljon. Koska nastan heijastin sijoittuu tienpinnasta suhteellisen korkealle, vettä saa tiellä olla todella paljon ja silti nastat vielä ohjaa hyvin, mutta veden alta se ei heijasta laisinkaan. Siksi nastaa ei saa asentaa uran pohjalle.

Heijastavien nastojen paluueijastuskyky on uutena erinomainen, joskin eri valmistustekniikasta ja materiaaleista johtuen heijastuskykyissä on suuria eroja. Lasilevyllä suojattujen heijastimien paluueijastusarvot akryyliprismoihin verrattuna voivat olla jopa kymmenen kertaa suuremmat. CEN:in tyyppiluokitus tiemerkintänastojen kohdalla perustuu valoarvoihin. Nastat heijastavat pitemmältä kuin missä ajovalojen valaisukuvion ulkoreuna on, ei kuitenkaan yhtä pitkältä kuin reunapaalut. Nastan heijastin voi olla akryyliprisma tai -linssi, lasilinssi tai mikroprismakalvo. Vaikka lasilinsseillä ja lasilla suojattujen prismaheijastimilla varustettujen nastojen paluueijastuskyky laskee noin 18% vuodessa, ovat ne näkyvämpiä kuin tavanomaiset tiemerkinnät. Liikenteen tiheydestä ja laadusta riippuen heijastimien pinnat kulumat sameiksi, rikkoutuvat tai irtoavat. Parhaiten

kestää karkaistulla lasilevyllä suojattu heijastin. Sellainen kestänee pohjolan olosuhteissa 1 ... 2 vuotta. Akryylilinssi tai -prisma samoin kuin akryylimuovista valmistettu prismakalvo menettävät paluuheijastavuuden jopa muutamassa viikossa.

Tiemerkintänastan runko-osa kestää oikein asennettuna erittäin hyvin mekaanista rasitusta ja on erittäin harvinaista, että tiemerkintänastan runko rikkoutuu.

Tiemerkintänastojen sijoittelutavat ajorataan vaihtelevat suuresti. Väliaikaisia merkkejä yleensä käytetään osoittamaan väylä tai kaistan reunat sekä päivällä että pimeällä. Kiinteillä korostetaan pääasiassa pimeällä olemassaolevia merkintöjä sijoittamalla nastat merkintöjen väliin, alkuun, alkuun ja loppuun, päälle ja kummallekin puolelle. Nastoja käytetään esim. tunneleissa, kaarteissa, kaistaolosuhteiden muutoksissa, liittymien pysäytysmerkinnöissä, nuolissa, risteyksien ja tietullien liikenteen kanavoinnissa.

Nastojen käyttötapa ja niiden keskinäinen etäisyys ovat suorassa suhteessa valaistusolosuhteisiin, liikenteen tiheyteen ja nopeuteen, kaarteiden jyrkkyyteen ja pituuteen, muiden merkintöjen olemassaoloon ja kestävyys sekä toisaalta tiemerkinnöillä olevan liikenteenohjauksen painoarvoon. Tämä merkitsee, että kullakin tiemerkintätyypillä - maaleilla ja massoilla sekä nastoilla - on oma tehtävänsä. Tehtävä taas riippuu siitä, minkälaiset liikenne- ja valaistusolosuhteet kulloinkin kohteessa vallitsevat. Nämä asiat yhdessä määräävät mihin ja kuinka paljon nastoja asennetaan ja mistä materiaalista muut tiemerkinnät tehdään kuinka pitkää toiminnallista kestoikää silmällä pitäen. Vaikka kallis korkealaatuinen havaittavuus ja liikenteen ohjaus nastoilla on vaihdettavissa halpaan heikkoon optiseen ohjaukseen muita merkintätapoja ja -materiaaleja käyttäen, ei vertailtavuus ole lineaarinen, vaan merkintätavan valinnassa on otettava huomioon paikalliset olosuhteet. Ja jos tievalaistuksen olemassaolo vaikuttaakin nastojen asennusperusteisiin, ei tiemerkintänastoilla tievalaistusta korvata, mutta saatetaan tasata vähennyksestä aiheutuvaa kasvanutta riskiä.

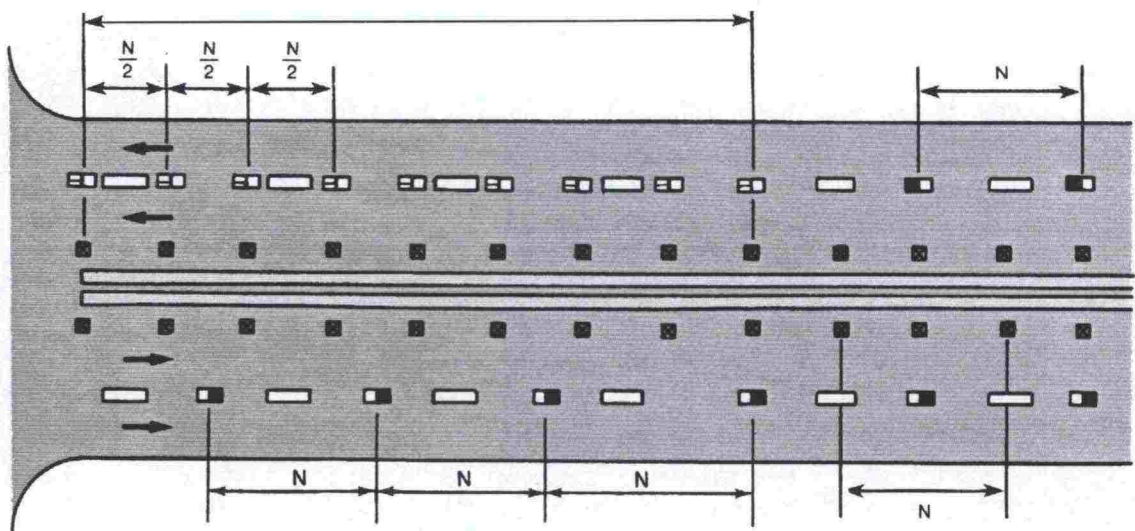
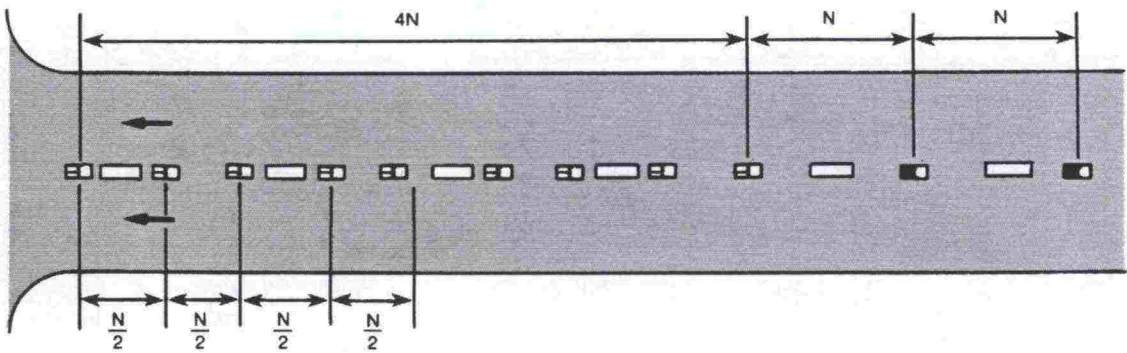
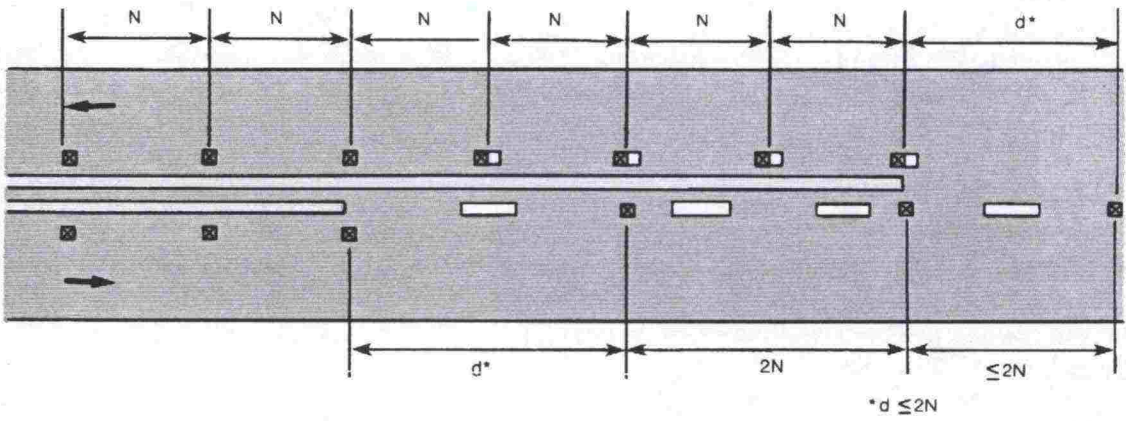
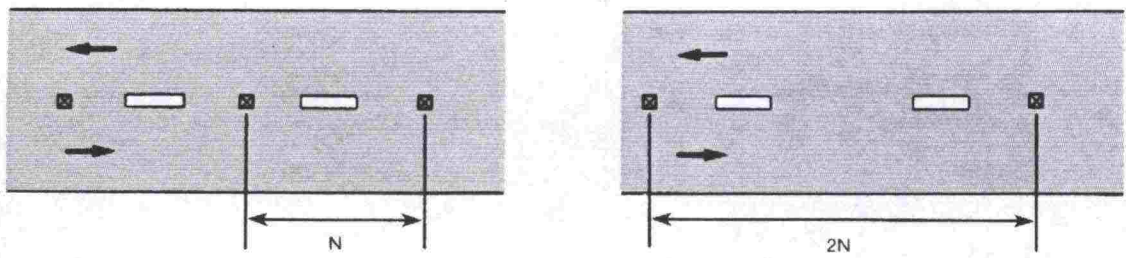
Seuraavassa on esimerkki sijoitteluetäisyyksistä eri tieolosuhteissa. Tässä ei ole huomioitu vallitsevia liikenne- ja valaistusolosuhteita:

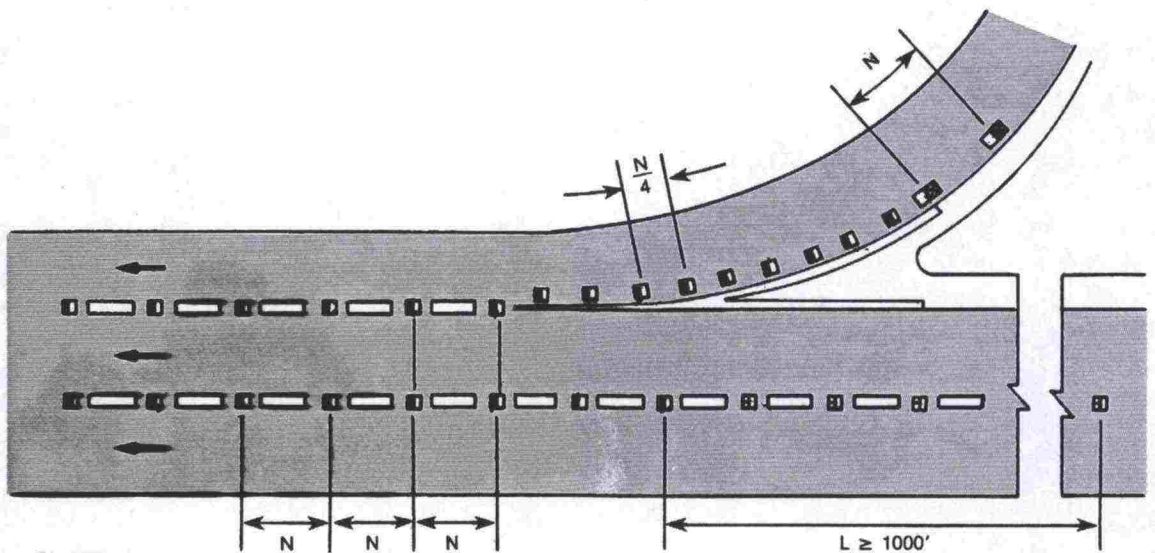
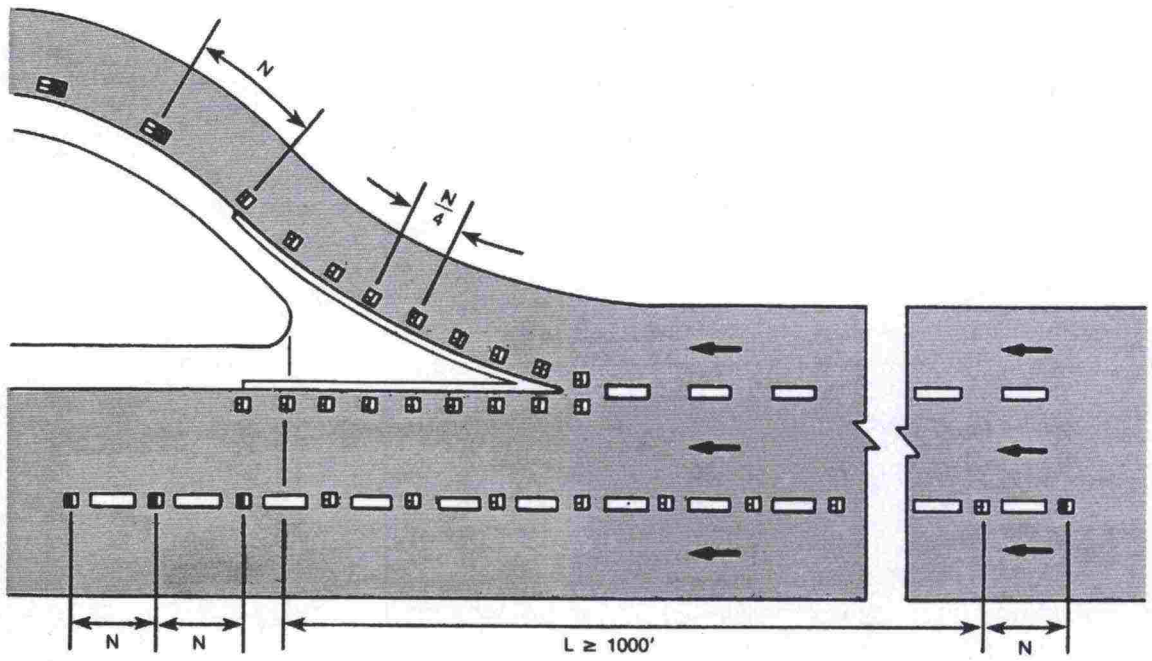
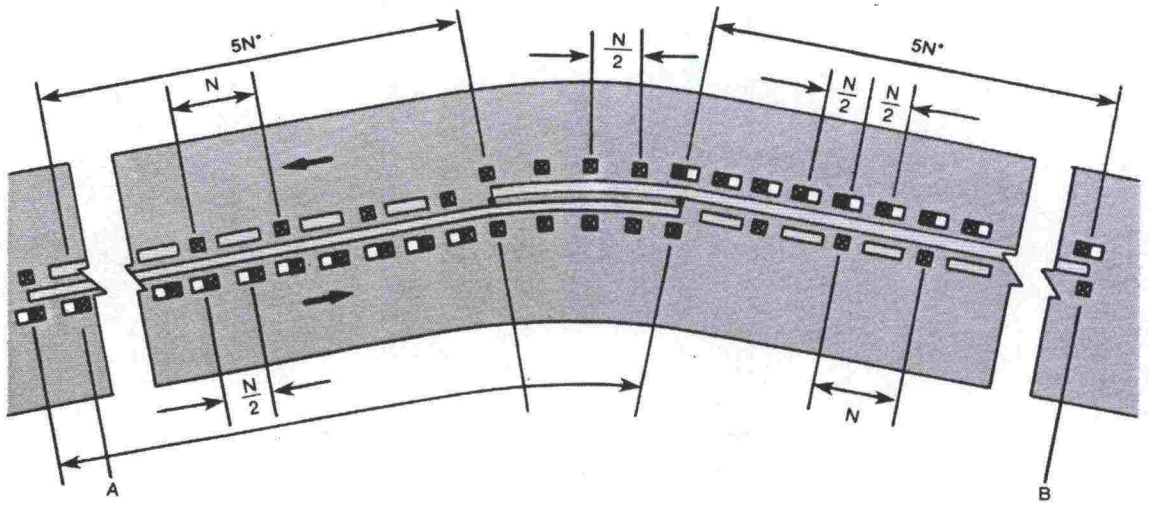
Suora tai kaarre > 150 m	12 m ... 14 m
Kaarre ≤ 150 m	6 m ... 7 m
Kanavoitu risteys ja ramppi	6 m ... 7 m
Ohituskaistan päättymisen	12 m ... 14 m

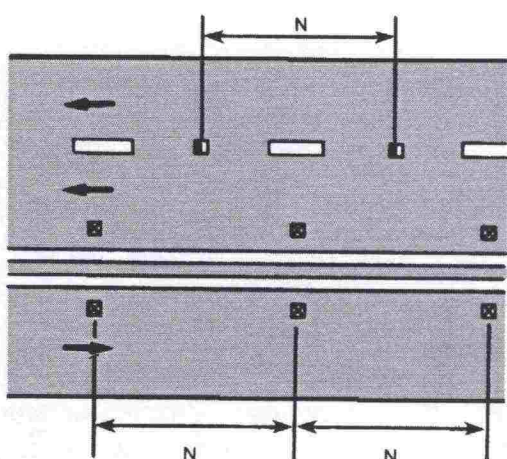
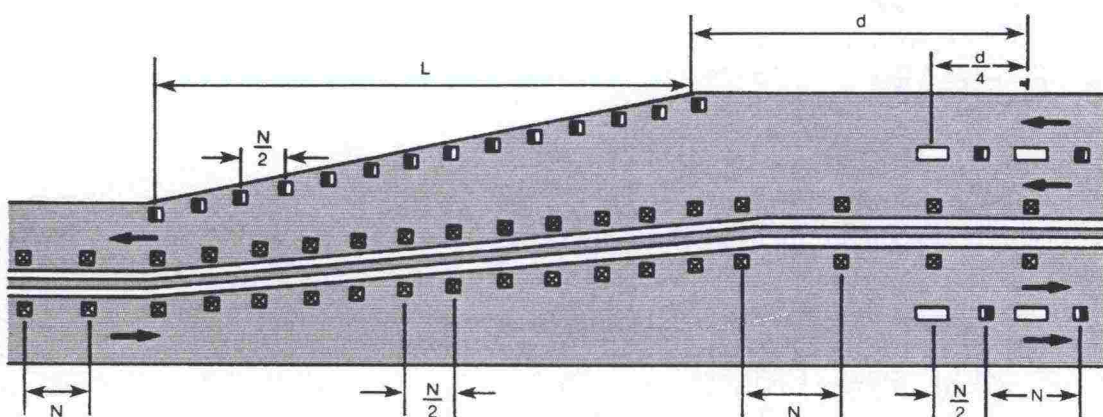
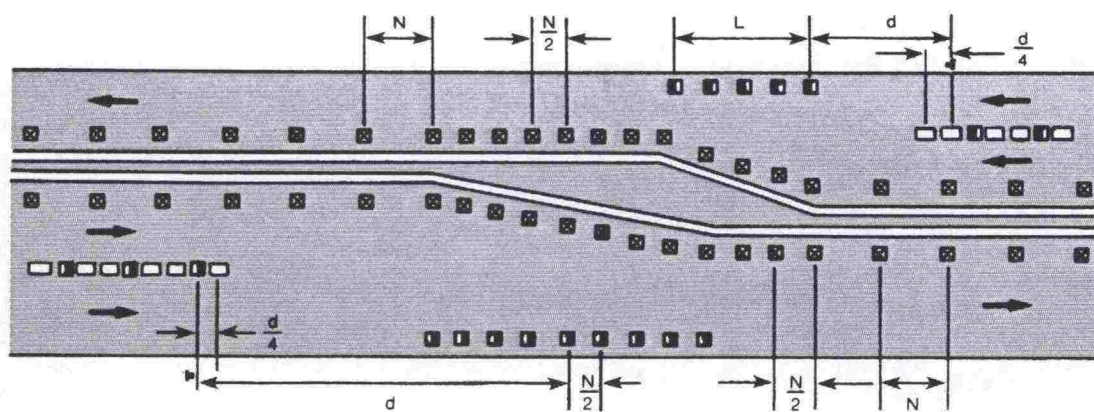
Riippumatta tiemerkintänastojen erilaisista sijoittelutavoista, niiden liikenteen ohjausvaikutus on hyvä ja väärinymmärtämisen vaaraa ei käytännössä ole.

Seuraavassa on esitelty amerikkalaista suositusta tiemerkintänastojen sijoittelusta. Suositusten mukaiset etäisyydet on otettu muiden maiden ohjestyksen perusteeksi. Vain maakohtaiset tielait ja määräykset ovat vaikuttaneet mm. tapaan käyttää värejä ja merkitä ajokaista.

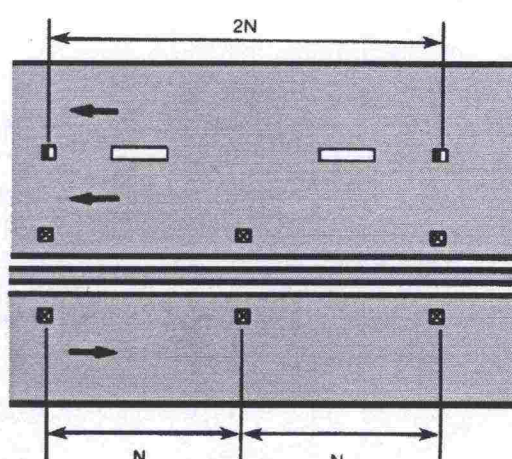
Norjassa tiemerkintänastoihin liittyvät liikennetutkimukset on toteutettu suositusta noudattaen. Siellä tehdyn selvityksen perusteella nastojen etäisyydet todettiin soveltuvan myös pohjoismaisiin olosuhteisiin.



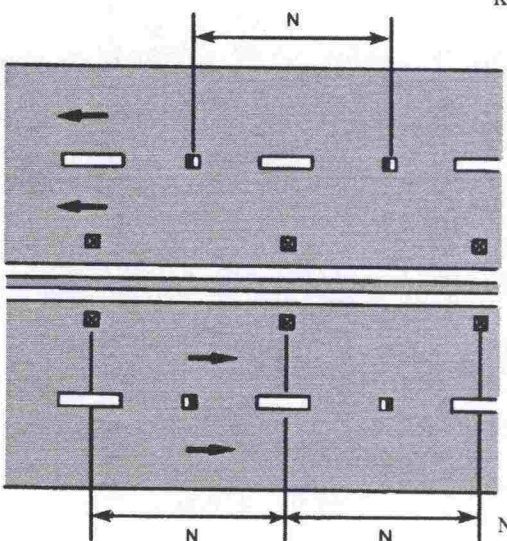




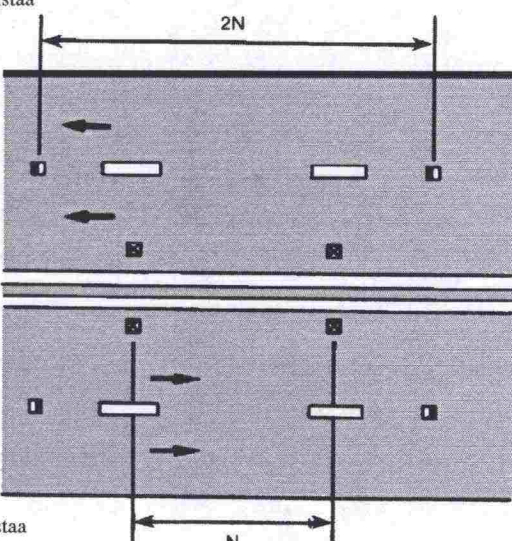
tai



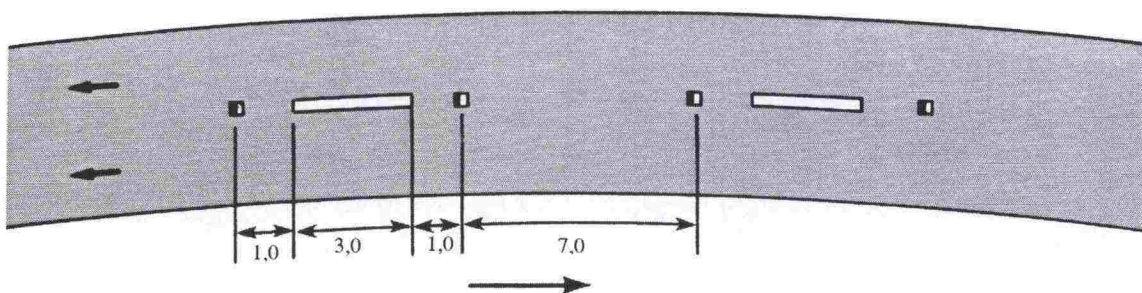
Kolme ajokaistaa



tai



Neljä ajokaistaa



Selitykset:

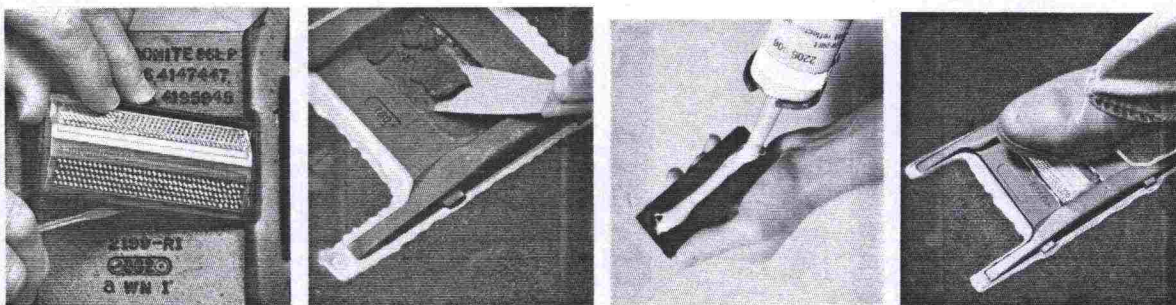
	Kahteen suuntaan keltainen		Yhteen suuntaan valkoinen
	Yhteen suuntaan keltainen		Punainen ja valkoinen
	Keltainen ja punainen	N	Normaali pituus
	Ajosuunta		

Tiemerkintänastojen kiinnitys on käytännössä käsityötä. Pintanastojen asennusta varten on kehitetty myös koneita, mutta ne eivät ole yleistyneet. Syynä on niiden kalleus. Sen sijaan on kehitetty vetovaunuja, joiden avulla siirretään asennustyötä suorittava henkilöä, merkintänastoja ja kuumaliimalaitetta. Upotuksissa käytetään joko poraa tai timanttisahaa. Pinta-asennustyö etenee nopeasti - 400 kpl/h tai 5 km/h - jos liima-aineena käytetään bitumipohjaista kuumaliimaa. Upotustyö etenee hitaammin ja työkohteen suojaukseen on kiinnitettävä edelliseen nähden enemmän huomiota.

Kiinteät

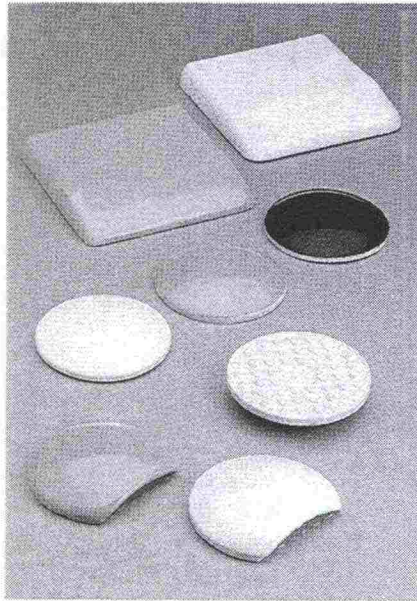
Tiemerkintänastojen runkomateriaaleina käytetään epoksia, MMA:ta, metallia tai lasitettua keramiikkaa. Metalliset ja keraamiset nastat ovat suosituimpia kuin muoviset, koska ne kestävät paremmin liikenteen kulutusta ja sääolosuhteita eivätkä kerää likaa. Keraamiset nastat hylkivät suhteellisen hyvin likakalvoa. Rungot ovat joko valkoisia tai keltaisia. Aurauksen kestävässä malleissa ei ole pintaväriä.

Jotkin nastat on valmistettu niin, että niiden heijastimet voi vaihtaa ilman, että nastan runkoa tarvitsee uusia.



Kuvasarja aurauksen kestävästi tiemerkintänastan heijastimen vaihdosta.

Yleisimmin käytetyt värit - sekä rungossa että heijastinosassa - ovat valkoinen, keltainen ja punainen sekä näiden yhdistelmät. Tiemerkintänasta heijastaa joko yhteen tai molempiin liikennesuuntiin. Tällöin saman nastan eri suuntiin näytävät pinnat ovat yleensä eri värisiä: valkoinen/keltainen tai keltainen/punainen.



Keltainen ja valkoinen ovat yleisimmät käytettävät runkovärit. Muita värejä ovat punainen ja päivänhohtopunainen. Siniset ja vihreät heijastimet yleensä kiinnitetään valkoiseen runkoon.

Nastojen väreillä korostetaan maali- ja massamerkintöjä. Punaista käytetään kielletyn suunnan osoittamiseksi. Vihreitä käytetään Italiassa moottoriteiden poistumiskaistojen osoittamiseen. USA:ssa siniset ilmoittavat vesipostista ja Meksikossa edessä olevasta tietullialueesta.

Pintanastan asennuksessa tien pinnan tulee olla vähintään 10 °C ja ilman kosteuden alle 80%. Pinta puhdistetaan irtoaineksestä, öljystä ja muista vieraista kemikaaleista ja sen tulee olla myös kuiva. Puhdistukseen suositellaan hiekkapuhallusta tai siihen verrattavaa menetelmää. Uutta asfalttipintaa ei tarvitse hiekkapuhallata ellei pinta ole liian öljyinen. Nastaa ei saa kiinnittää maali- tai massamerkinnän päälle eikä liioin halkeama-, liitos- tai saumakohtiin. Kun tiemerointinastalla halutaan korostaa muuta tiemerointia, tulee nastat sijoittaa 5 cm:n etäisyydelle viivasta tai linjastosta. Tällä taataan muun merkinnän uusiminen nastaa tahrimatta tai peittämättä.

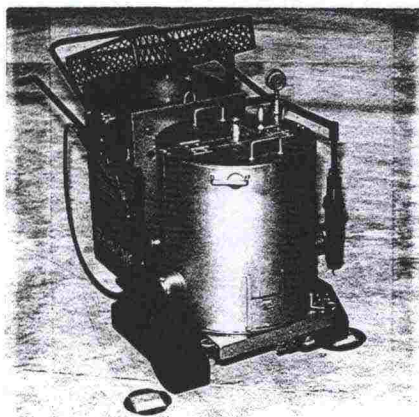
Kiinteät pintaan asennettavat nastat liimataan tätä tarkoitusta varten valmistetulla kuumennettavalla kuivabetoniliimalla, bitumipohjaisella kuumaliimalla tai 2-komponenttiliimalla, joka lähes poikkeuksetta on epoksiliimaa.

Nastan kokoinen pala kuivabetoniliimaa leikataan liimalevykkeestä, kuumennetaan puhaltimella ja nastat painetaan kiinni. Kiinnittyminen on nopeaa, jälki siistiä ja pysyvyys erinomainen.

Bitumipohjainen kuumaliima (Hot-melt Adhesive) joustaa jonkin verran. Käyttäytymiseltään se muistuttaa kovakumia ja vähentää yliajon aiheuttamaa iskua. Nastat eivät murru. Levitettäessä liima uppoaa pinnan epätasaisuuksiin ja tasoittaa ne. Kuumaliima materiaalina on ympäristöystävällinen ja menetelmänä halpa sekä nopea.

Kuumaliima sulatetaan paikanpäällä padassa, jossa on öljymantteli. Siitä kuumaliima voidaan annostella padan kummallekin puolelle.

Yksinkertaisimmillaan kuumaliiman voi sulattaa missä tahansa astiassa, mutta työn laatua ei voi tällöin taata.



Työnnettävä bitumipata.



Kuumapistoolilaitte

Sulatusta ja levittämistä varten on suunniteltu myös kuumaliimapistoolilaitte. Se koostuu erillisestä sähköagregaatista, sulatuslaitteistosta, vastusletkusta ja pistoolista suulakkeineen. Laitteen teho on joko 4.200W - 4.700W. Sulatuskaukalon vetoisuus on noin 23 - 45 kg. Lämmitysaika on 60 minuuttia ja teho materiaalista riippuen on noin 27 kg/h. Kuumaliima pumpataan pistooliin vastusletkua pitkin. Sulatuskaukalossa kuumaliiman lämpötila on 37 ... 232 °C. Letkun lämpötila-alueita on useampia, mutta silläkin on mahdollista pitää kuumaliima saman lämpöisenä kuin mitä se on sulatuskaukalossa. Laite on

huomattavasti turvallisempi ja nopeampi kuin pataratkaisut eikä pistoolia tarvitse puhdistaa käytön jälkeen.

Liima-aineen määrä ratkaisee kuinka hyvin kiinnittyminen onnistuu. Liimaa tulee olla niin paljon, että sitä pursuaa 2 - 3 mm nastan ulkopuolelle. Joissakin tapauksissa suositellaan, että nasta poimitaan heti ylös ja tarkastetaan kuinka hyvin liima-aine on levinnyt pohjaan. Liika liima-aine taas peittää helposti heijastinosan. Kun liima-aine on kovettunut, tiemerikintänasta on valmis ottamaan vastaan liikenteen rasituksen. Asennuslämpötilan on epoksiliimoilla oltava ehdottomasti yli 10 °C. Vaikka bitumin lämpötila voi olla 37 ... 232 °C, niin siinäkin tapauksessa asennuslämpötilan ei suositella olevan 10 °C alhaisempi.

Jokaisella nastavalmistajalla on oma 2-komponenttiliimansa. Tämä ei kuitenkaan estä käyttämästä bitumipohjaista kuumaliimaa tai muita tarkoitukseen valmistettuja komponenttiliimoja. Uusissa asfalttipinnoissa kuumaliima pitää paremmin kuin epoksiliimat. Ero pienenee asfaltin ikääntyessä. Betonissa 2-komponenttiliimat toimivat paremmin kuin kuumaliima, sillä mekaanisen sidoksen lisäksi nestemäisten hartsien ominaisuutena on muodostaa kemiallinen sidos kivessä olevan piin kanssa. Betonipinnat tulee kuitenkin ensin puhdistaa hyvin ja uusista betonipinnoista on sementtiliimakerros poistettava. (Ks. *"Pinnan esivalmistelu ja merkintöjen poistamismenetelmät"*)

2-komponenttiliimat ovat hitaita käsitellä ja niissä on terveydelle haitallisia aineita eivätkä ne anna virheitä anteiksi. Siksi liiman sekoitus tulee suorittaa erittäin huolellisesti kaikkia ohjeita noudattaen. Muutamien kymmenien nastojen asennuksessa käytetään epoksiliimaa, mutta suuremmissa asennustöissä suositellaan kuumaliimaa.

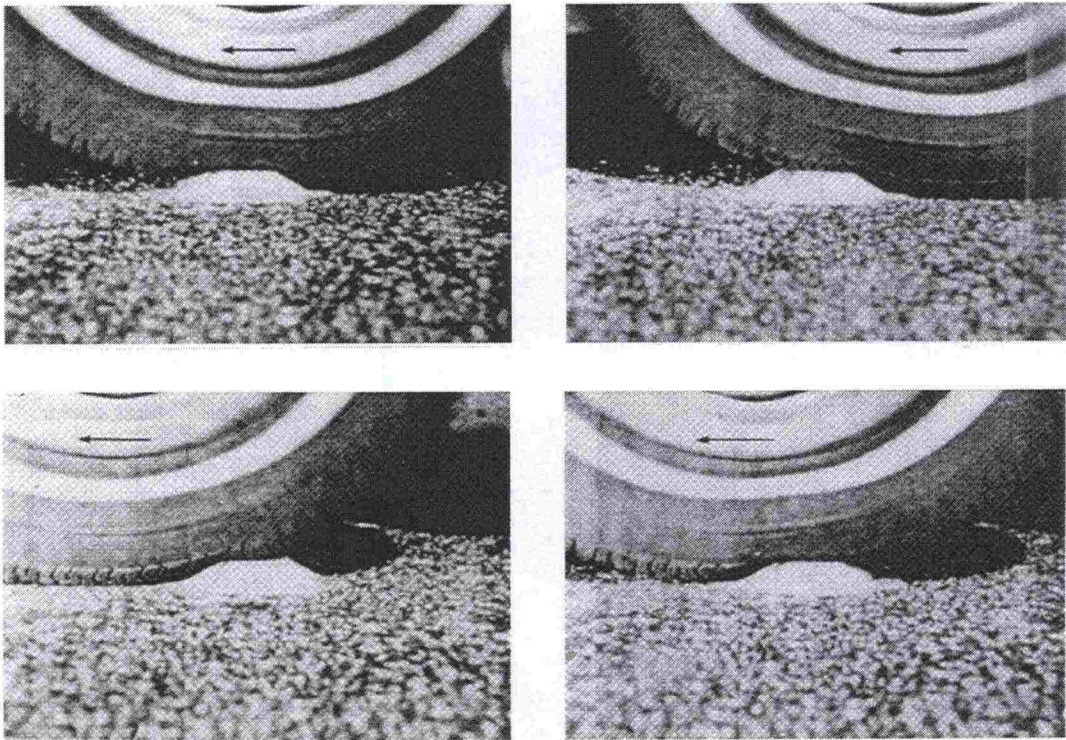
Upotettuja tiemerikintänastoja on kahta perustyyppiä, yksi on kiilan mallinen ja toinen pyöreä. Ensimmäisen upotusuran tekemiseen käytetään timanttiteräistä laikkapakkaa, kun taas toiseen poraa. Kummassakin tapauksessa liima-aineena voidaan käyttää sekä epoksia että bitumia, mutta ilmeisesti epoksi toimii näissä tapauksissa bitumia paremmin. Syy tähän olettamukseen on se, että uran pinnat ovat sileitä ja epoksi tarttuu hyvin piipitoiseen kiviainekseen.

Miksi tiemerikintänasta irtoaa "itsestään" silloin, kun aura ei ole ollut asialla? Kysymykseen saa vastauksen, kun tietää miten kiinnittyminen ja irtoaminen tapahtuvat. Tässä tarkastellaan asfalttiteolosuhteita.

Tiemerikintänasta kiinnittyy jatkuvasti elastisena pysyvällä liima-aineella. Liima-aine tunkeutuu juoksevuutensa ja pienen viskositeettinsa vuoksi tiessä oleviin pieniin rakosiin taaten hyvän mekaanisen kiinnittävyyden alustansa. Kuumaliima sulattaa mastiksia ja materiaalit yhtyvät. Silloin bitumin tulee olla noin 200 °C, joka on hieman enemmän kuin asfaltin pehmenemislämpötila. Jos liimaukseen käytetään 2-komponenttiliimaa, muodostuu mekaanisen kiinnittymisen lisäksi luja kemiallinen sidos. Nastan liima-aine kapseloi reunoiltaan. Nastojen alapinnat on tehty epätasaiseksi, jotta tartuntapinta-ala olisi mahdollisimman suuri. Nasta kiinnittyy pelkästään mekaanisesti liima-aineeseen. Liima-aineiden erinomaisen toimivuuden havaitsee "itseksensä" irronneista nastoista; itseasiassa se on asfaltti, joka on irronnut nastan ympäriltä.

Kiinteä tiemerkintänasta ei irtoa itsestään, liikenteen yliajot sen tekevät. Otaksutaan, että nastaan kohdistuvat voimat ovat keskenään tasapainossa, kun kuorma-auton rengas ajaa sen ylitse. Rengas on niin suuri, että se peittää nastan alleen kokonaan.

Kuluttavin on henkilöauton rengas. Aikaisemmista oletuksista huolimatta henkilöauton rengas ei hyppää nastan yli, vaikka se siltä joskus kuulostaakin. Koska henkilöauton rengas on kuorma-auton rengasta huomattavasti pienempi, kohdistuu nastaan epätasainen kuormitus.



Kuvasarja on otettu pikakameralla (500 kuvaa sekunnissa). Auton nopeus on kuvaushetkellä noin 100 km/h. Rengaspaineista riippumatta käyttäytyminen on samanlaista.

Tutkimuksissa on havaittu, että renkaan keskiviiva harvoin osuu nastan keskiviivalle. Tästä seuraa, että nastaan kohdistuu kohtisuoraan vaikuttavan kuormituksen lisäksi sivuttaisvoimia ja se joutuu näin keinuvaan liikkeeseen. Jos liima-aine ei pysty vaimentamaan voimia vaan välittää ne, väsyä asfaltti ja se haurastuu. Siitä todisteena on pehmeän, epämuodostuneen asfalttiaineksen puuttuminen rikkoutuman ympäriltä. Tämä taas puolestaan merkitsee, että väsyminen on suoraan riippuvainen rasituksen määrästä. Iskun kestolla ja voimalla on vähän tai ei ollenkaan merkitystä. Nastan muodolla on jonkin verran merkitystä, sillä pyöreät ($\varnothing 10$ cm) irtoavat harvemmin, kuin suorakaiteen ($10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$) muotoiset.

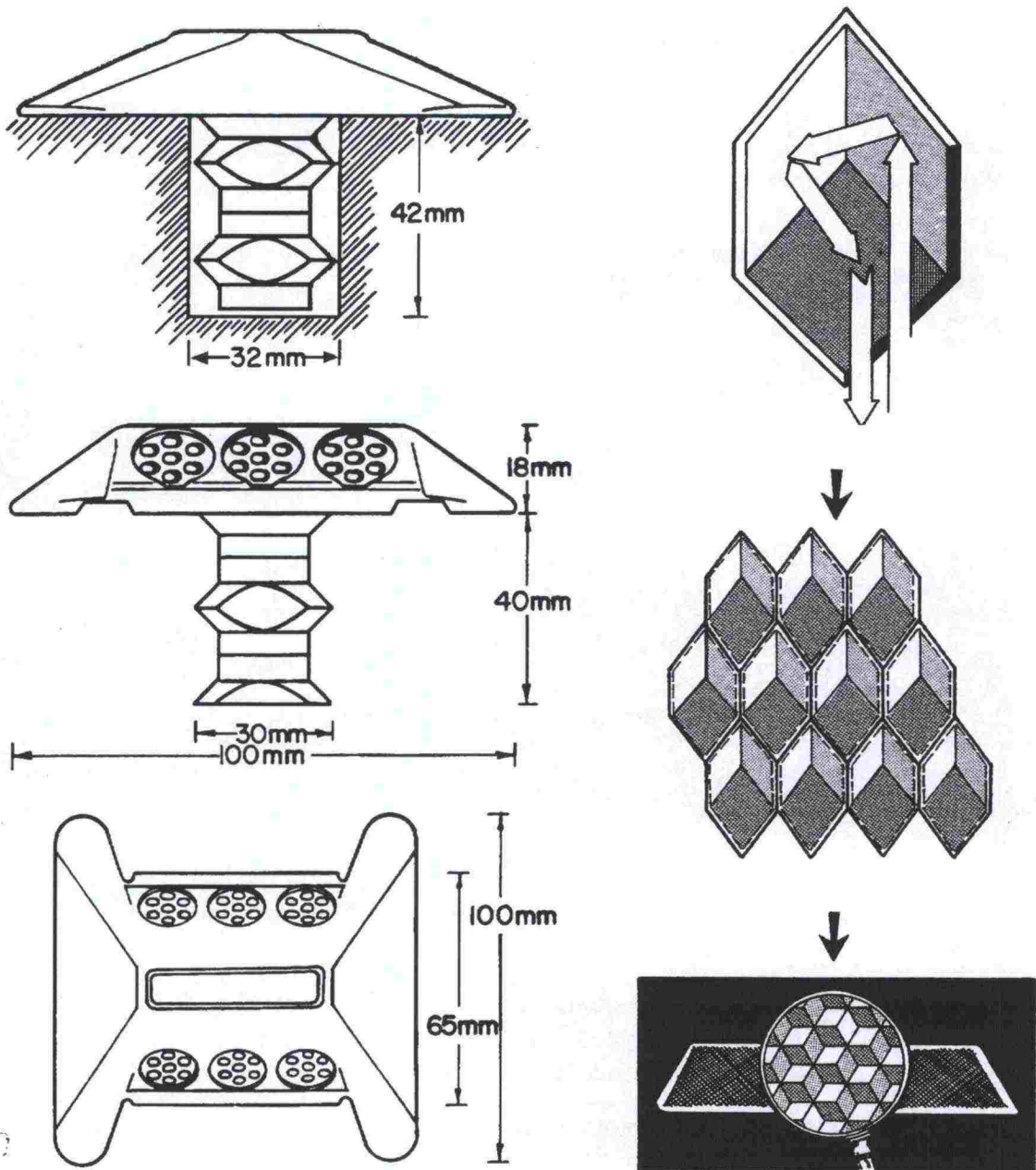
Liima-aine ei aina vaimenna nastaan kohdistuvia voimia vaan välittää niitä. Jos liima-aine on asfalttia lujempaa, murtuu asfaltti. Siksi liima-aine on valittava tienpinnan lujuuden mukaisesti: kuumaliima uusille ja uudehkoille pinnoille ja kuumaliiman ohella vanhoille asfalteille ja epoksiliima betonille.

Niihin kohtiin, joista tiemerkintänastat ovat irronneet, voi asentaa uuden nastan. Asfaltti on repeämän kohdalta hyväkuntoista, koska väsynyt materiaali on

poistunut nastan mukana. Upotetut nastat lohkeavat auruksessa, jos nastan asennus ei ole onnistunut tai sen muotoilu on epäonnistunut. Niiden irtoaminen on erittäin harvinaista silloin, kun asennus on tehty oikein.

Aurauksen kestäville tiemerikintänastoilta edellytetään seuraavia vaatimuksia: Niiden tulee kestää auran isku ja kitka. Ne eivät saa vahingoittaa aurasalustoa eikä vaikuttaa auton ohjautuvuuteen. Auran tulee liukua yli eikä hypätä. Kuljettajan työhygieniä ei saa kärsiä.

Useimmissa testeissä on havaittu, että aurukselta kestäväksi suunniteltujen nastojen tienpinnan yläpuolinen profiili tulee olla pitkänomainen ja kiilanomainen. Niiden korkeus tienpinnasta on noin 0,65 ... 1,05 cm.

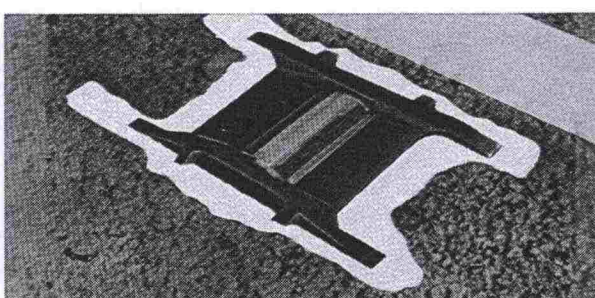
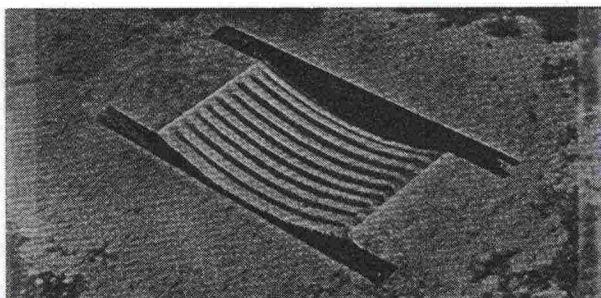
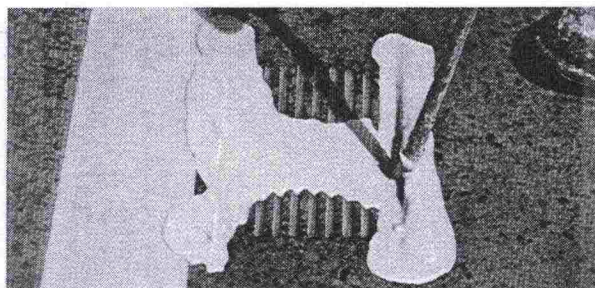
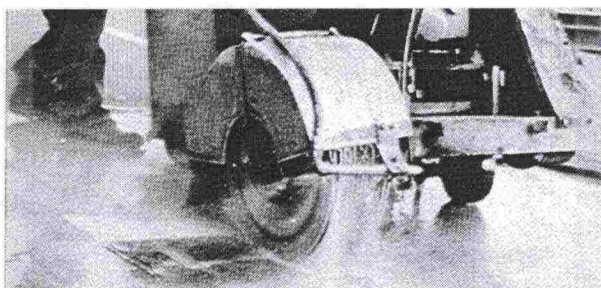


Vasemmalla eräs upotettava ja auruksen kestävä tiemerikintänasta. Oikealla valon kulku prismaheijastimessa.

Joustavat nastat on kiinnitetty tiehen upotettavaan hylsyyn. Auton ajaessa yli, nasta joustaa ja pyyhkimet poistavat lian heijastinosasta. Tämän tyyppiset nastat ovat liian korkeita ja jyrkkiä. Ne eivät ehdi painua alas riittävän helposti ja nopeasti. Sen lisäksi hylsyt täyttyvät helposti vedellä, josta osa jää sinne. Jäätynyt vesi estää nastaa painumasta alas ja seuraukset ovat nastan kannalta tuhoisat.

Upotettavien tiemerikintänastojen asennus on hidasta ja vaatii ammattitaitoisen työryhmän. Tiehen, jossa ei ole etumerkintää tai vanhoja merkintöjä, on tiemerikintänastojen asentaminen vaikeaa, koska nastoja varten ei ole kehitetty suuntaustyökaluja tai -menetelmiä. Linjaus ja suuntaus tehdään silmämääräisesti. Upotustyökaluissa on syvyysrajain ja mahdollisesti tähtäin.

Upotustyökalut voivat olla joko työnnettäviä laitteita tai raskaita koneita. Raskaiden koneiden etuna on käsikoneisiin verrattuna suurempi työnopeus, helpompi käsiteltävyys ja liikuteltavuus. Raskaiden koneiden terän voimansiirto on joko hihna- tai kardaanivälitteinen, joista jälkimmäinen on luotettavin ja laadultaan tasaisin. Kardaanivälitteisillä koneilla voi työskennellä tienpinnan laadusta ja rakenteesta välittämättä.



Aurauksen kestävän tiemerikintänastan upotuksen työvaiheet.

Jyrsityn uran pohjaa ei tarvitse hioa, vain korkeimmat kivet tms. joudutaan tasoittamaan, jotta ne eivät jää kantamaan.

Asennuksessa käytettävä aika ja miehitys voi vaihdella suurestikin. Syinä ovat liikenne, sää, ilman ja tien lämpötila, suuntaaminen, tiemerikintänastan asennustapa (jyrsin tai pora), kuivausmenetelmän tehokkuus ja liima-aine.

Pintaan kiinnitettävän nastan vetolaitteesta käsin tapahtuvaan asennukseen kuluu 20 ... 30 sekuntia, kun pinnan alustustoimenpiteet on suoritettu ja pinta on kuiva. Työryhmään tarvitaan vetoauton kuljettaja, 2 asentajaa, takana ajavan suoja-auton kuljettaja ja lainsäädännön muu vaatima suojausmiehistö ja -kalusto.

Upotettavien tiemerkintänastojen asennuksessa aikaa kuluu vaihtelevasti riippuen pintamateriaalista. Samanlaisen upotusuran jyrsiminen asfalttiin vie aikaa 9 ja betoniin 12 sekuntia. Poraus vaatii puolestaan 6 ja 12 minuuttia. Jos työstössä on käytetty vettä, on pinnan oltava ehdottoman kuivua ennen liimaamista. Yleisesti voi sanoa, että jyrshintä on poraukseen verrattuna monta kertaa nopeampaa ja kuivumista voi nopeuttaa esim. liekkiharjauksella. Nastojen asennukseen kuluu 2 ... 8 minuuttia. Näiden kaikkien lisäksi tulee vielä liima-aineen tarvitsema yksilöllinen kovettumisaika, joka on 5 ... 60 minuuttia. Asennuksessa tarvitaan vähintään 2, mutta kaiketi korkeintaan 4 henkilöä.

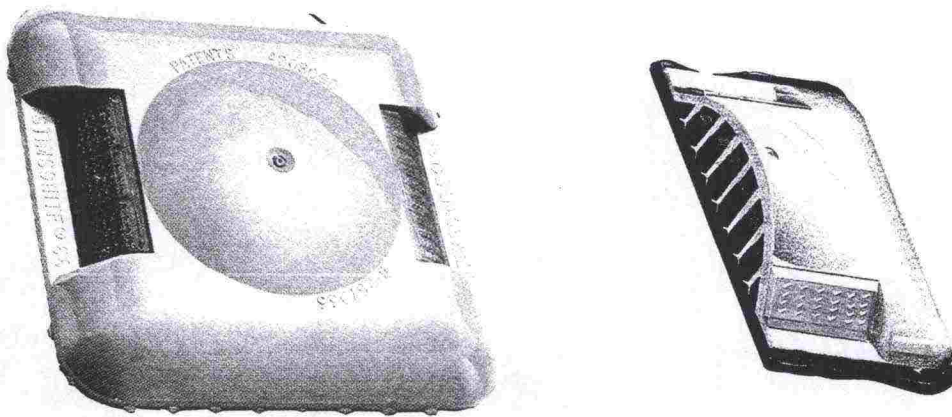
Väliaikaiset

Väliaikaiset tiemerkintänastojen rungot ovat väriltään valkoisia ja keltaisia tai niissä on käytetty päiväloistevärejä. Materiaali on poikkeuksetta muovia ja ne kiinnittyvät butyyliliimatyynyn avulla. Joissakin tapauksissa nasta voidaan myös naulata asfalttiin, mutta se on nykyään kovin harvinaista.

Nastan asentaminen tapahtuu nopeasti; 30 sekuntia riittää. Liimatyyny jaksaa pitää nastaa paikoillaan korkeintaan 2 ... 3 kk. Irrottamiseen käytetään lapiota.

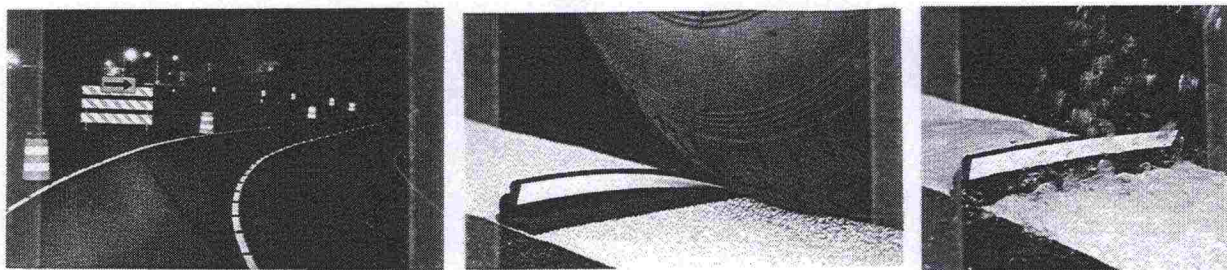
Seuraavassa yksi esimerkki väliaikaisen tiemerkintänastan asentamisesta. Asennuksessa tien pinnan tulee olla vähintään 10 °C ja ilman kosteuden alle 80%. Alusta puhdistetaan irtoaineksesta. Jos käytetään primeriä, se sivellään pensselillä ja annetaan kuivua. Liimatyynyn suojapaperi irroitetaan ja nasta asetetaan paikoilleen. Viimeiseksi nastaan tulee kohdistaa noin 680 kg:n paine 6 sekunnin ajan. Henkilöauto on sopivin tähän tarkoitukseen.

Väliaikaisia nastoja käytetään varsin menestyksekkäästi tietyökohteissa ohjaamaan liikenne kiertotielle. Myös kiertotien kaistajako tehdään väliaikaisilla nastoilla. Nastojen ylivoimaisuus maalattuihin merkintöihin verrattuna tulee esille mm. siinä, että nastat pilkistävät kuran alta. Ne huuhtoutuvat helpommin kuin maalimerkinnot. Pimeällä ja etenkin sateella ne näkyvät hyvin. Edullisuutensa vuoksi ne voi uusia sitä mukaa, kun niitä kuluu ja ylläpito voi tapahtua työmaahenkilökunnan toimesta.



Väliaikainen nasta ja sen poikkileikkaus.

Väliaikaiseksi tarkoitettuja merkintöjä voidaan tehdä myös tiehen liimattavilla heijastavilla muovilipukkeilla. Niitä voi mm käyttää työmaakohteiden lisäksi ennen varsinaisten tiemerkintöjen tekoa.



Pienestä koostaan huolimatta merkintälipukkeet toimivat erittäin hyvin kaikissa olosuhteissa ja joustavat liikenteen alla.

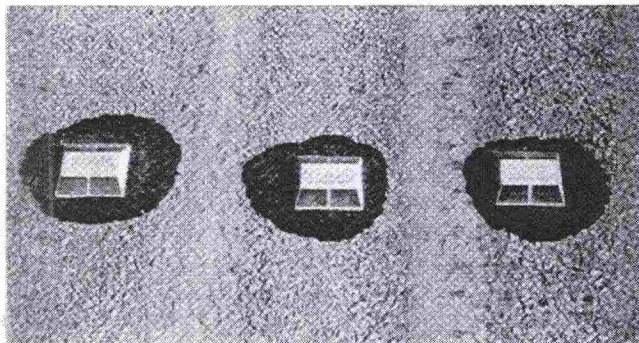
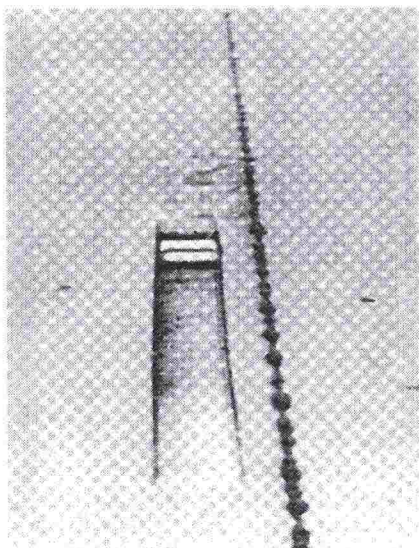
Kunnossapidosta

Kunnossapito ei vaadi erityisosaamista eikä asennuslaitteistosta poikkeavaa kalustoa ja sen voi hoitaa joko tienhoidon paikallisyksikkö tai urakoitsija.

Tiemerkintänastojen uusimista varten on joissakin USA:n tienhoitopiireissä yritetty kehittää tietokonesovelluksia, mutta mallintaminen on havaittu ongelmalliseksi. Yleensä mallien suosittelu korjaustoimenpide tapahtuu liian myöhään liikenteen palveluasteen kannalta, joten nastojen korjaus tai uusiminen tehdään muiden töiden ohella ja silloin, kun kohteen liikenneolosuhteet vaativat ripeitä toimenpiteitä.

Metallirunkoinen nasta voidaan huoltaa vaihtamalla heijastinosa. Tällöin vanha heijastin poistetaan, runko puhdistetaan ja liimataan uusi heijastin. Muovirunkoiset kiinteästi asennettavat nastat uusitaan kokonaan. Vanha vaurioitunut nasta voidaan jättää paikalleen. Esteettisesti vanha on ruma ja haittaa jonkin verran ajaomukavuutta, mutta pimeällä ja kostealla kelillä sen heräteominaisuudet ovat tallella.

Väliaikaisia nastoja ja lipukkeita ei voida huoltaa, vaan vaurioituneiden ja irtoneiden tilalle on asennettava uudet.



- Vasemmalla: Aurauksen kestävyyttä ja kiinnipysymistä on pyritty keinotekoisesti saamaan aikaiseksi upottamalla tiemerikintänasta jyrskittyyn uraan. Tätä ei saa tehdä, sillä ura kerää turhaan vettä tai jäätä. Nasta ei näy eikä herätä.
- Oikealla: Tehostettu keltaisten sulkuviivojen alku. Nastojen tueksi voidaan tien reunapaalujen värityksellä saada aikaiseksi merkintöjen ja visuaalisen ajoympäristön eriarvoistaminen.

Laatuvaatimuksista

Suomessa tiemerikintänastoille ei ole asetettu laatuvaatimuksia. Seuraavassa käsitellään joitakin CEN-laatuvaatimusehdotuksia.

Luokituksessa käsitellään vain yhteen tai kahteen suuntaan heijastavia tiemerikintänastoja ja jaotellaan aikaisemmin esitetystä poikkeavalla tavalla:

Käyttötarkoitus	Heijastin	Rungon rakenne
Kiinteä	Lasia	Painumaton
Väliaikainen	Muovia	Painuva
	Lasilla suojattu muovi	

Riippumatta käyttötarkoituksesta, nasta jaetaan korkeuden mukaan neljään luokkaan siten, että nasta ilman vaatimuksia (H 0) tulee paikkaan, jossa se ei jää liikenteen alle.

Luokka	Korkeus mm
H 0	ei vaatimusta
H 1	< 18
H 2	≥ 18 < 20
H 3	≥ 20 ≤ 25

Käyttötarkoituksesta riippuen nastan pituus- ja leveysmitat jätetään kolmeen luokkaan. Kiinteiden nastojen kohdalla luokka HD 0 on tarkoitettu erikoistarkoituksiin kehitettyjä nastoja varten. Näitä ovat mm. aurauksen kestävät ja valo-ohjaukseen tarkoitettut nastat.

Kiinteä korkeintaan		Väliaikainen vähintään	
Luokka	Pit. * Lev.	Luokka	Pit. * Lev.
HD 0	ei vaatimusta	HDT 0	ei vaatimusta
HD 1	250 * 190	HDT 1	35 * 84
HD 2	320 * 230	HDT 2	75 * 90

Kaikki yllämainitut mitat tulevat täyttyä nastan ollessa asennettuna paikoilleen.

Nastoille asetetut valo-ominaisuusarvot vaihtelevat käyttötarkoituksittain, heijastimittain kaikki kolmen valon lankeamis- ja katselukulman mukaan. Valon lankeamiskulmat ovat $\pm 15^\circ$, $\pm 10^\circ$ ja $\pm 5^\circ$ ja katselukulmat 2° , 1° ja $0,3^\circ$. Kullekin viidelle värille on määrätty paluueijastuvuuskertoimet ja värikoordinaatit. Värejä ovat valkoinen (1), keltainen (0,6), kellanruskea (meripihkan värinen) (0,5), punainen (0,2) ja vihreä (0,2).

Heijastavan värin koordinaattien määrittämisessä on eräs mielenkiintoinen seikka. Vaikka kullekin värille on määrätty paikka ja värialueen muoto, varataan oikeus muutoksiin. Varaus johtuu siitä, että CIE (TC 2.19) on aloittanut työnsä tutkiakseen yönäkyvyyssvärejä, joten komitean loppuraporttiin saakka luokituksessa annetut arvot voitaneen tulkita ohjeellisiksi.

Väliaikaisilta nastoilta edellytetään näkymistä päiväaikaan. Siksi määrätään nastan rungon värikoordinaatit ja luminanssikerroin valkoiselle, vihreän keltaiselle päivähohtoväriille ja keltaiselle.

Paluuheijastuvuus laboratoriossa mitataan erillisellä mittarilla ja vakiovalolähteellä. Nasta kiinnitetään alustaan, jota voidaan kiertää sekä pysty- että vaakasuunnassa. Suositeltu tarkasteluetäisyys on vähintään 10 m.

Heijastemateriaalit

Lasihelmet

Tiemerkinnöissä lasia on käytetty jo yli 50 vuoden ajan. ja se on ylivoimaisesti käytetyin heijastemateriaali riippumatta siitä, mitä merkintämateriaalia käytetään. Muitakin materiaaleja on kokeiltu ja tullaan kokeilemaan, mutta toistaiseksi näkyvissä ei ole mitään, joka lasia korvaisi. Ei ainakaan samoilla toimintaperiaatteilla ja nykyisessä valaisu ympäristössä.

Lasissa on monta ominaisuutta, joita kaikkia on vaikea saada yhtäaikaan johonkin lasia korvaavaan tuotteeseen. Tässä yhteydessä tulee huomioda ainakin kolme eri tarkastelusuuntaa: sitä valmistava teollisuus, ympäristö ja käyttäjä.

Mekaanisesti lasi kestää suhteellisen hyvin. Fysikaalinen kestävyys on myös hyvä. Lasi on luonteeltaan vakaa materiaali. Optisilta ominaisuuksiltaan lasi on omaa luokkaansa. Sillä on edulliset tuotantokustannukset ja matala teknologia-aste. Raaka-aineina käytettävät luonnonvarat jakaantuvat suhteellisen tasaisesti ympäri maailmaa. Raaka-aineena voidaan käyttää muussa lasiteollisuudessa syntyvää jätettä ja tuotannon ympäristökuormitus on keskiluokkaa. Lisää ominaisuuksia saadaan käyttämällä valmistusvaiheessa lisäaineita ja/tai antamalla erilaisia pintakäsittelyitä valmistusvaiheen lopussa. Lopputuotteen käsittely on helppoa ja suhteellisen vaaratonta. Lasihelmet sopivat kaikkiin tunnettuihin merkintämateriaaleihin ilman "vieroitusoireita".

Muovisia helmiä on kokeiltu ainakin Ruotsissa, mutta niiden optiset ja mekaaniset ominaisuudet eivät olleet tyydyttäviä. Prismojen käytössä on ongelmana niiden levittäminen ja oikea suuntaaminen. Toisekseen prismojen valmistus ei toistaiseksi tule taloudellisesti lasihelmiä vastaavalle tasolle, vaikka valmistusmäärät nousisivatkin suuriksi. Toistaiseksi prismat toimivat parhaiten heijastavissa kalvoissa.

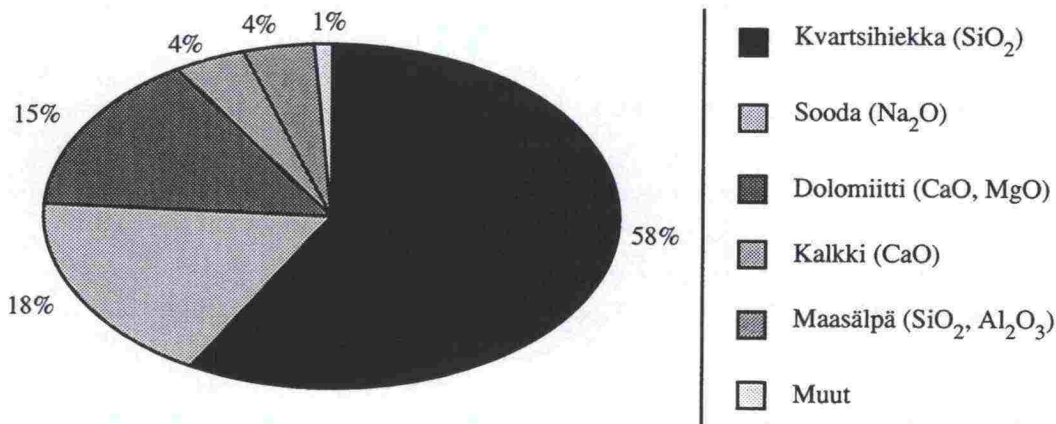
Raaka-aineista

Pääsääntöisesti 60% helmien raaka-aineesta on ikkunalasiasia. Loput 40% voi olla muuta kirkasta, väritöntä, puhdasta ja käyttämätöntä lasia, jonka tekniset ominaisuudet ovat lähellä ikkunalasiasia. Syy ikkunalasin käyttöön on selkeä, sillä valmistajasta riippumatta ikkunalasi on varsin tasalaatuista. Kaikki tasolasin valmistajat pyrkivät teknisiltä ja optisilta ominaisuuksiltaan samanlaiseen lopputulokseen vaikka raaka-aineet, raaka-ainetoimittajat ja lasin koostumus vaihtelevat. Ikkunalasin tulee täyttää seuraavat ominaisuudet, jotka myös suurelta osin pätevät myös helmille: valon taitekerroin, säteilyn läpäisy- ja suodatusominaisuudet, massan valmistuksen aikainen käyttäytyvyys,

kulutuskestävyys, väri, leikattavuus ja lämpökäsiteltävyys, joka lähinnä tarkoittaa karkaisua ja taivutusta.

Raaka-aineen kannalta ikkunalasi on paras mahdollinen. Se on puhdasta, tasalaatuista, valmistus on suurta ja ikkunoita uusitaan paljon. Saatavuus on helmivalmistajien kohdalla taattu. Siksi on perusteltua tutustua tasolasiin, kun perehdytään lasihelmien teknisiin ominaisuuksiin.

Kun puhutaan pii-, lyijy-, alumiinisilikaatti- tai natronkalkkilasista, niin lasihelmivalmistuksen kannalta niillä ei ole merkitystä. On toki aineita, jotka vaikuttavat suoranaisesti lasin ominaisuuksiin, kuten lyijy. Se heikentää rakenteellisia ominaisuuksia, mutta lisää röntgensäteilyn suodatuskykyä. Ensimmäisellä on merkitystä paljonkin, toisella ei yhtään. Pintakovuutta antaa alumiini. Tämän perusteella olisi suotavaa, että tiemerkinnöissä käytettävän helmen raaka-aineena käytettäisiin alumiinia sisältävää lasia, jonka lyijypitoisuus on miltei olematon. Alumiinin osuutta ei voi kuitenkaan kasvattaa kovinkaan suureksi, koska lasimassan viskositeetti kärsii.



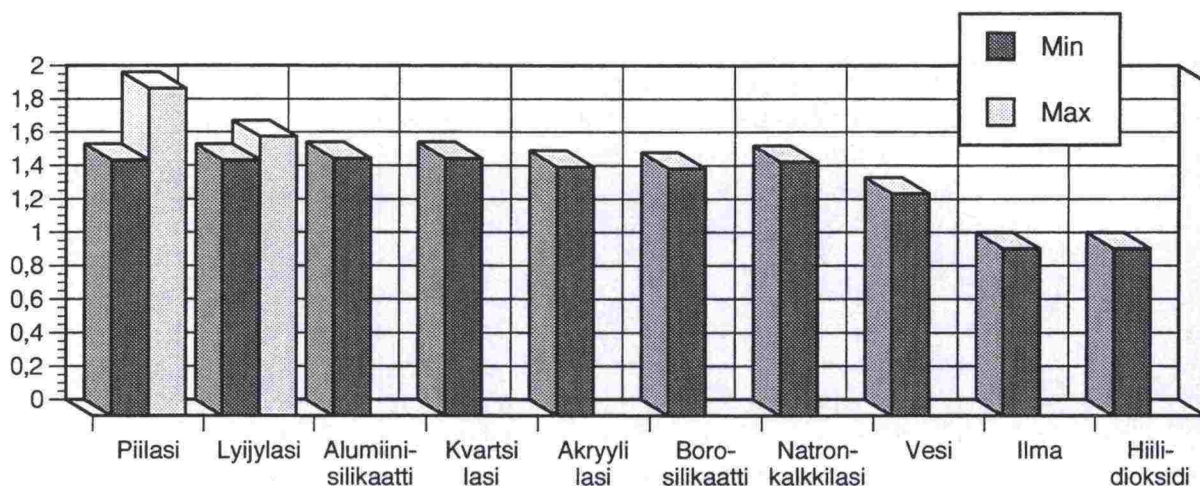
Kuva lasin valmistuksessa käytettyjen raaka-aineiden jakautumisesta

Tämän reseptin mukaan valmistetun lasin valontaitekerroin on 1,53. Jos Valontaitekerroin halutaan toiseksi, reseptin ainemäärät muuttuvat ja ikkunalasi ei enää kelpaa raaka-aineeksi. Jos taitekertoimeksi halutaan 1,65, tulee reseptiin 50 paino% vähemmän alumiinisilikaattia kuin ikkunalasiin. Kalsiumoksidin määrä nousee vastaavasti. Lasimassassa, josta valmistetaan 1,90 taitekertoimen omaavia helmiä, ei ole alumiinisilikaattia tai kalsiumoksidia. Resepti on liikesalaisuus, mutta merkittävimmät aineosat ovat barium ja titaani.

Hiekasta saadaan lasia muodostava oksidi SiO_2 , soodasta Na_2O , joka edistää sulatusta, Kalkkikivi sisältämä CaO tasaannuttaa lasin kemiallisia ominaisuuksia. Maasälvästä saadaan Al_2O_3 , joka mm. vähentää lasin kristallisoitumiskykyä.

Valosta

Kun valonsäde kohtaa lasin, vain osa säteestä menee läpi. Osa heijastuu pois ja loppu imeytyy lasimassaan. Lasin valonläpäisykyky pienenee jotakuinkin tasaisesti lasin paksuuden kasvaessa. Tuulilasin pinnalla oleva lika laskee valonläpäisykykyä. Jos puhdas lasi laskee valoa läpi noin 85%, niin likainen lasi pysäyttää valosta 25% ennenkuin se katsotaan normaalia likaisemmaksi. Tämä tilanne syntyy kevyen sateen jälkeisellä kelillä tai pitkän kuivan kauden aikana sekä silloin, kun siitepölyn määrä ilmassa on suurimmillaan.



Kuva valon taitekertoimista eri aineissa

Valon heijastumis- ja imeytymisprosentti riippuu lasin optisista ominaisuuksista. Tavallinen väritön lasi heijastaa noin 4% lasipintaa kohden eli yhteensä 8% ruutua kohden. Lasihelmi heijastaa 4%, kun taas lasilevyn kohdalla heijastus on 8%. Jos lasin taitekerroin (n) tunnetaan, voidaan heijastuminen (R) laskea Fresnelin kaavan mukaan seuraavasti:

$$R = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

Täysin värittömän lasin, jolloin valon imeytymistä ei tapahdu ollenkaan, valonläpäisykyky on 0,92 tai 92%. Koska kuitenkin väritön lasi on värillistä fysikaalisessa merkityksessä, imeytyy aina tietty määrä näkyvästä valosta. Valon läpäisykyky jää käytännössä alle 92%. Imeytyminen vaihtelee lasin aallonpituuden mukaan. Tavallisen konelasin kohdalla näkyvän valon alueella lasi läpäisee valosta 85 - 90%. Lasi ei läpäise UV-valoa, jonka aallonpituus on alle 300 nm ja pitkäaaltoista infrapunavaloa, jonka aallonpituus on noin 3000 nm:n yläpuolella.

Ultraviolettin alue on 180 ... 400 nm. Ihmissilmän spektriherkkyys on sinisen 380 nm:n ja punaisen 780 nm:n välissä. Infrapunainen alue on 780 ... 5000 nm.

Tiemerkinnöissä käytettävien lasihelmien valonläpäisykyky on noin 90% helmien koosta riippumatta. Muut valonläpäisyyteen vaikuttavat tekijät muodostuvat merkittäviksi.

Väristä

Lasi värjäytyy erittäin helposti - jopa liiankin helposti. Lasin väriä säädetään lisäaineilla. Lasille ominainen vihreä sävy tulee rautaoksidista, jota lasissa on joka tapauksessa. Harvinaisilla maametalleilla on voimakkaasti värjäävä ominaisuus. Näistä esimerkiksi neodym antaa lasille punaviolettin värin. Se vaimentaa valon kellan vihreätä osuutta eli kirkastaa muita värejä.

Tasolasin valmistuksen yhteydessä väri mitataan mm. väri ja valon läpäisyominaisuudet. Väri ilmoitetaan CIE:n 1931 värimittauksen standardijärjestelmän xyz-koordinaatteina, jotka ilmoittavat spektriset kolmiväriarvot tietyllä aallonpituudella, esim:

x	87,79
y	90,12
z	106,30

CEN-normiehdotus pintasirotteisille lasihelmille määrää valkoisen lasihelmen värikoordinaatit CIE:n 1931 väridiagrammilla.

Akseli	Oik. ylä	Oik. ala	Vas. ylä	Vas. ala
x	0,335	0,335	0,305	0,285
y	0,375	0,335	0,305	0,325

Kuvio muodostaa koordinaatistolla vinosuunnikkaan, jossa oikea reuna on kohtisuora. Tämä tarkoittaa, että oranssin puoleinen kulma puuttuu ja suunnikkaan kärki osoittaa vaalean vihreän suuntaan.

Kemiallisista ominaisuuksista

Lasille ilmoitetaan seuraavat ominaisuudet, joista suurimmalla osalla ei ole merkitystä lasihelmien kohdalla:

Ominaisuus	Käytetään / kommentti
Absoluuttinen ominaispaino (2,46 kg/dm ³)	Massalaskelmissa: oleellinen tieto
Toteutuva ominaispaino (1,6 kg/dm ³ *)	Kuljetuksessa ja siroittelussa: oleellinen tieto
Valontaitekerroin (1,52)	Laatua ja ominaisuutta kuvaava arvo: oleellinen tieto
Dielektrisyysluku (7,2 MC 20 °C)	Liittyy sähköisiin ominaisuuksiin: ei käyttöä
Ominaislämpö (7,5 kJ)	Sitoo vähän energiaa: mukava tietää
Lämmönjohtoluku (4186,8kJ)	Siirtää keskinkertaisesti lämpöä: hyvä tietää
Eristyskyky (4.500kV/cm)	Liittyy sähköisiin ominaisuuksiin: ei käyttöä
Kovuus (6 Mohia)	Suhteellinen kovuus: Moh'lla ei käytännön merkitystä
Oljyn absorptioluku: (ASTM 17)	Amerikkalainen standardi: ei käytännön merkitystä
Lämpölaajenemiskerroin (8,5 x 10 ⁻⁶)	Ei käytännön merkitystä

*) Ominaispaino on riippuvainen valontaitekertoimen saavuttamiseksi käytettyjen raakaineiden määristä.

Tasolasi on käytännöllisesti katsoen aina sooda-kalkki-silikaattityyppeä.

Lasi on kemialliselta vastustuskyvyltään luokkaa 4 (SIS 711031 - jauhemenetelmä). Lasihelmivalmistuksessa syntynyt lasi kestää hyvin veden ja happojen vaikutusta. Fluorivetyhappo syövyttää voimakkaasti lasia. Alkalisille liuksille lasi on huomattavasti herkempi kuin happamille. Lasin alkalipitoisuudella (Na₂O + K₂O) on suuri merkitys sen kemialliselle vastustuskyvylle. Mitä enemmän alkalia, sitä huonompi vastustuskyky. Kun lasi joutuu kosketuksiin veden kanssa, liukenee siitä tietty määrä alkalia ja tämän johdosta tulee lasin pinta vastustuskykyisemmäksi. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että vesi huuhtoutuu pois. Jos huuhtoutumista ei tapahdu, lasihelmet ovat miltei kiinni toisissaan ja vesi jää seisomaan pitkäksi aikaa paikalleen, veden alkalipitoisuus kasvaa. Seurauksena on lasin syöpyminen ja se

näkyä lasin samentumisena. Tämän tyyppistä syöpymistä kutsutaan lasihomeeksi. Syöpyminen voi olla niin pahaa, että lasihelmet liimautuvat toisiinsa kiinni ja irrottaminen vain rikkoo ne. Tämä takia lasihelmet tulee ehdottomasti varastoida kuivassa. Mitä korkeampi veden lämpötila on, sitä voimakkaampi syöpyminen on. Siksi lasihelmien vedensietokykykokeissa niitä kiehutetaan kalkittomassa vedessä tunnin ajan. Kokeella aiheutetaan nopeutettu syöpyminen.

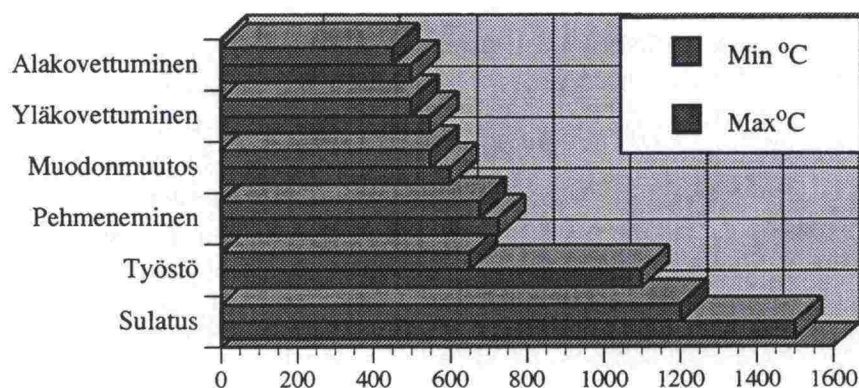
Se, millaiseksi valontaittokyvyltään lasihelmet on valmistettu, vaikuttaa suoraan lasin kemialliseen käyttäytymiseen. Ikkunalasista valmistetut 1,50 taitekertoimen omaavat helmet ovat vakaita. Samoin 1,90 taitekertoimelliset helmet ovat suhteellisen vakaita, koska massassa olevan boorin ja titaanin osuus on korkea. Epävakain on helmi, jonka taitekerroin on 1,65. Sen massassa ei ole piitä ja kalsiumoksidin määrä on korkea. Lasi ei siedä happoja, koska sillä ei ole piin suoja kalsiumin katoa vastaan. On muistettava, että laimeat happoliuokset ovat syövyttävämpiä kuin vahvat.

Kalkki- ja sementtiliuokset voivat syövyttää lasia voimakkaasti. Suhteellisen tuoretta sementtiä huuhdellut sade voi muodostua erittäin syövyttäväksi. Siksi uusien betoniteiden ensimmäinen merkintä joudutaan tekemään tietoisena siitä, että merkinnästä tulee väliaikainen materiaalista riippumatta.

Valmistuksen aikana voi lasin pintaan muodostua "hyttisavua", joka sisältää lasin pintaa syövyttäviä rikkipitoisia kaasuja. Rikkidioksidi reagoi lasin natriumoksidin kanssa ja tapahtuman tulos näkyy harmaanvalkoisena natriumsulfaattikerroksena lasin pinnassa. Kerros on helppo pestä vedellä pois. Kemiallisilta ominaisuuksiltaan lasin pinta tulee tämän käsittelyn jälkeen kestävämmäksi. Syöpyminen voi kuitenkin olla niin voimakasta, että helmi tulee silminhavaittavan sameaksi. Näin himmenneeseen lasiin muodostuu usein värejä hohtava kerros. Tämä on samanlainen optinen taittumisilmiö, jonka vedenpinnalla kelluva öljykalvo muodostaa.

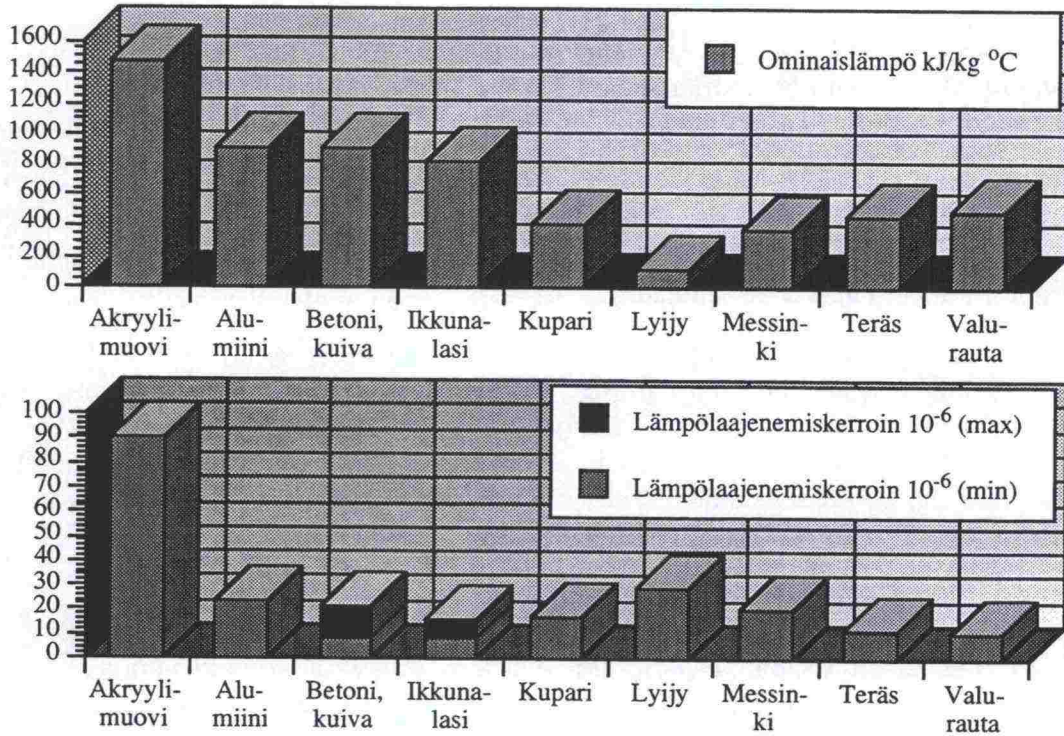
Fysikaalisista ominaisuuksista, kuten lämmöstä ja kestävydestä

Lasi ei ole fysikaalisessa mielessä kiinteä aine, vaan pikemminkin se voidaan kuvata alijäähtyneeksi nesteeksi. Lasilla ei ole sulamispistettä. Aika nopeaa se on jo 1500 °C:n lämpötilassa, jossa lasin valmistus yleensä tapahtuu. Jäähtyessään lasin viskositeetti kasvaa. Lämpötila-viskositeettikäyrien avulla voidaan määritellä fysikaaliset lämpötila-alueet. Taulukossa esitettyjä arvoja noudatetaan yleensä normaalin koostumuksen omaaviin tasolaseihin ja tässä tapauksessa myös lasihelmiin.



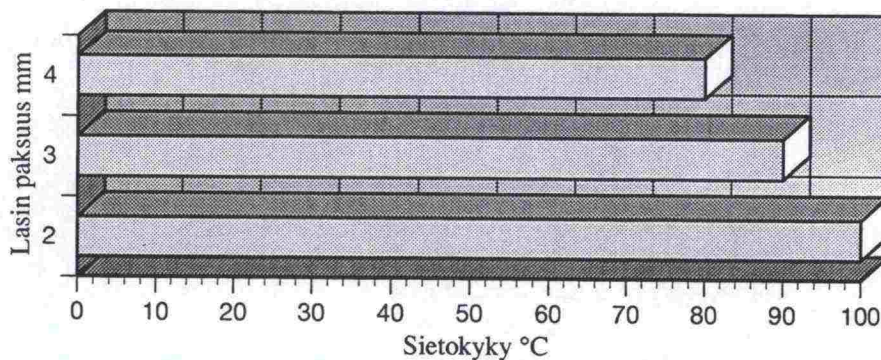
Kuva lasin käyttäytymisestä eri lämpötiloissa

Kun taulukkoa tarkastelee huomaa, että kuumamassan lämpötila (noin 180 °C ... 230 °C) ei koskaan saavuta sellaista arvoa, joka vaikuttaisi lasihelmen fysikaalisiin ominaisuuksiin. 300 °C:ssa lasi menettää lämmöllä aikaansaadut karkaisuominaisuudet, mutta niin kuumaa lämpötilaa ei tiemerikinnässä käytetä. Lasin lämpölaajenemisella ei liioin ole vaikutusta tiemerikinnässä. Ikkunalasin lämpölaajenemiskerroin on 8 ... 8,5.



Kuva eri aineiden lämpökäyttäytymisestä

Lasilla on kuitenkin vaihteleva kyky reagoida äkillisiin lämpötilaeroihin. Ohut lasi kestää suurempia äkillisiä muutoksia kuin paksu.



Kuva lasin lämpötilaerojen sietokyvystä

Yleensä lasi kestää lämmitessään noin 2 kertaa suurempia äkillisiä lämpötilamuutoksia kuin jäähtyessään. Tämä johtuu siitä, että jälkimmäisessä tapauksessa lasin pintaan muodostuu vetojännityksiä, kun taas lämmitessä muodostuu puristusjännityksiä. Kun kuumamassan pintaan sirotellaan suuria helmiä, olisi niiden esilämmitys suotavaa.

Lasin mekaanisesta kestävydestä on vaikea antaa mitään tarkkoja arvoja sen vuoksi, että pintaviat vaikuttavat suuresti lasin kestävyteen. Lasihelmien osalta ongelman muodostaa helmen pieni koko. Lasin kestävyys alenee huomattavasti heti pinnan vahingoituttua joko kemiallisesti tai mekaanisesti. Teoriassa lasin vetolujuus on 10.000 N/mm^2 , mutta käytännössä todettu arvo tasolasilla on vain noin 1% tästä. Olennaisin syy tähän alhaiseen arvoon, joka tavataan kaikentyyppisissä tehdasvalmisteisissa laseissa, on mikroskooppisen pienet säröt lasin pinnassa. Sama pätee myös lasihelmiin.

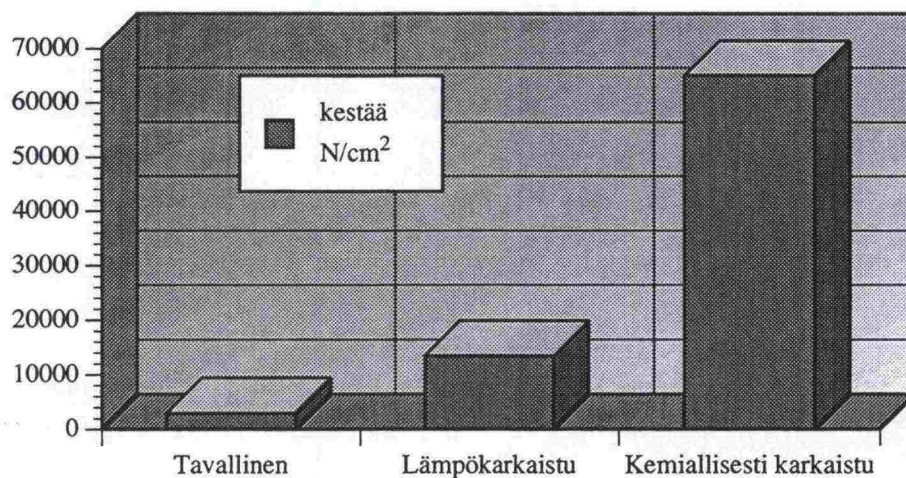
Lasin puristuslujuus on noin 10 kertaa suurempi kuin vetolujuus. Lasin hauraudesta johtuu, että käytännössä kuitenkin juuri vetojännitteet rajoittavat lasin lujuutta riippumatta kuormituksen laadusta. Hauraudesta johtuu myös, etteivät jännitykset aiheuta muodonmuutosta. Lasi vastustaa muodonmuutosta, kunnes se murtuu.

Lasin jännityksillä on huomattava merkitys tasolasin lujuuteen. Jäähdytysvaiheen tarkoituksena on supistaa kylmään lasiin jäävät jännitykset mahdollisimman vähiin. Pinta pyritään ylipäänsä saamaan vapaaksi pysyvistä pintajännityksistä.

Lasia voidaan karkaista joko lämpökäsittelyillä tai kemiallisesti. Kummallakin menetelmällä saadaan aikaan erilaisia jännitteitä lasin pinnassa. Valmis lasi kuumennetaan noin $650 \text{ }^{\circ}\text{C}$:ksi ja jäähdytetään nopeasti. Kun lasin pinta jäähtyy nopeammin kuin ydinkerrokset, lasiin syntyy pysyviä jännitteitä; pintakerrokseen puristus- ja sisäosaan vetojännitteitä. Karkaistun lasin lujuus on suurentunut 4 ... 5 kertaseksi. Karkaistu lasi kestää myös paremmin äkillisiä lämpötilaeroja.

Tavallisen lasihelmen valmistuksessa pintajännitteillä - veto- ja puristusjännitteillä - ei ole käytännössä suurta merkitystä pienen pinnan takia. Pienissä lasihelmessä ei ole liioin niin suurta massaa, että lämpökäsittelyllä pystyttäisiin vaikuttamaan jännitteiden muodostumiseen ja sitä kautta kestävyteen käyttäen hyväksi puristusjännitystä. Kuumakarkaisu saattaa mahdollisesti tulla kyseeseen isojen helmien kohdalla. Tällöin helmen koko pitäisi olla $\geq 2 \text{ mm}$.

Lämpökarkaistussa lasissa tapahtuu päästö noin $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämmössä. Kuumamassan käsittely tapahtuu tätä alemmassa lämpötilassa. Karkaistu lasi särkyä pieneksi muruseksi ja kappaleiden reunat eivät ole teräviä, joten karkeaksi rikkoutuneesta suuresta helmestä ei pitäisi olla vaaraa millekään.



Kuva erilailla karkaistujen lasien kestävydestä

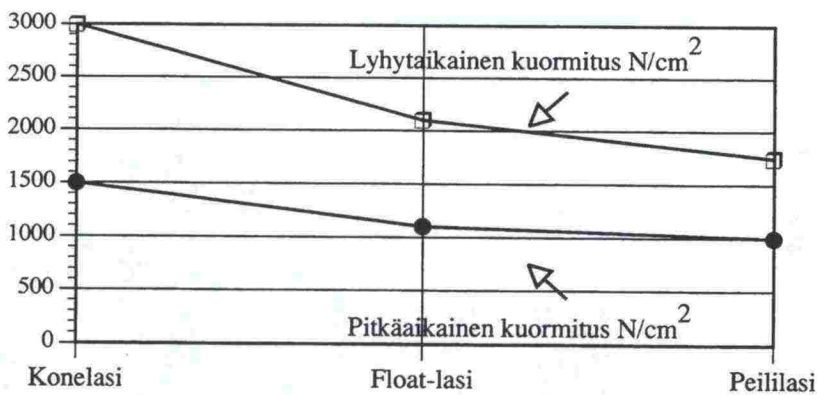
Kemiallisella karkaisulla vaihdetaan lasinpinnalla olevia kemiallisia komponentteja. Lasin muodolla ei karkaisussa ole merkitystä, mutta koolla on. Jos karkaisulla halutaan vaikuttaa lasihelmeen, niin sen halkaisijan tulee olla noin 1cm.

Kovuutta kuvataan ns. Moh'n kovuusasteikolla, jossa talkki on pehmein ja timantti kovin.

Moh'n kovuusasteikko	
1.	Talkki
2.	Kipsi
3.	Kalkkisälpä
4.	Fluorisälpä
5.	Apatiitti
6.	Maasälpä
7.	Kvartsi
8.	Topaasi
9.	Korundi
10.	Timantti

Lasi saa tässä asteikossa yleensä arvon 6. Tässä asteikossa suuremmalla numerolla esiintyvä aine voi naarmuttaa pienempinumeroista. Likimain kaikki lasit ovat maasälvän kovuusia. On kuitenkin ironista, että lasit järjestään naarmuttavat toisiaan, vaikka eri lasityyppien kovuusasteet eroavat hieman toisistaan.

Käytännön lujuuslaskelmissa voidaan käyttää seuraavia sallittuja taivutusjännityksen arvoja, jolloin rikkoontumisen vaara on korkeintaan 1%.



Kuva lasin kuormituksen sietokyvystä

Nasta on ongelma teille, tiemerikinnöille ja helmille. Ongelmaa valaisee nastan ja renkaan kulumisen ymmärtäminen. Paljaalla tiellä rengas kuluu nopeammin, kuin nasta ja päinvastoin. Tämä tarkoittaa sitä, että syksyllä ja keväällä, kun tienpinnalla ei ole lunta tai jäätä, nasta tulee enemmän ja enemmän esille renkaasta ja syö tien pintaa.

Kun nastarenkaan nastan paino saa korkeintaan olla n. 1 g, niin dynaamisen iskun voiman aiheuttama kuormitus voi kuluneellakin nastalla nousta 80 km/h nopeudessa jopa n. 4.600N/cm². Nastoissa käytetty kovapalametalli on 8 Moh'n kovuustaulukossa. Uusi nasta iskeytyy tiehen aina terävä reuna edellä noin 11 asteen

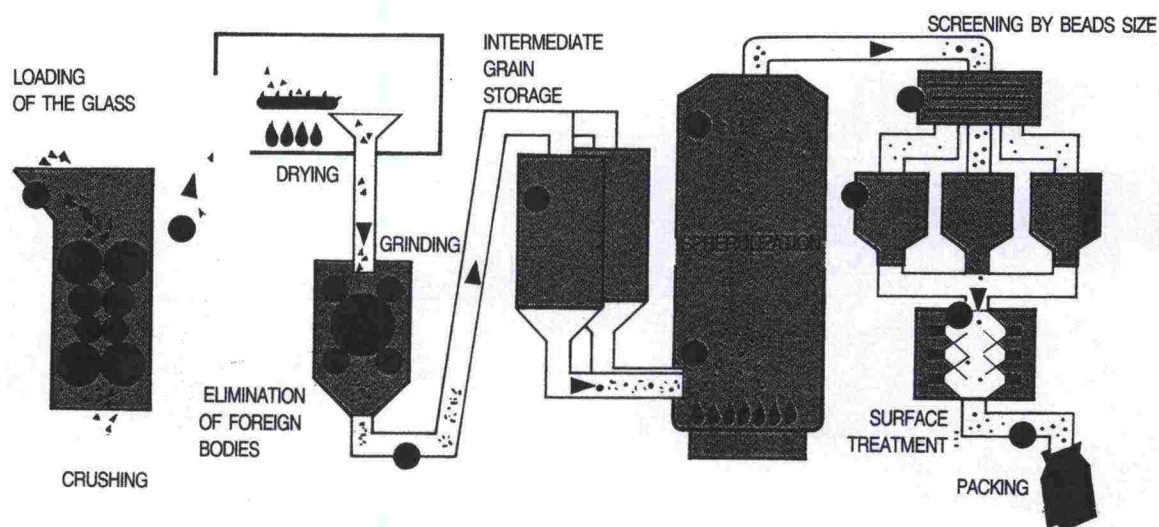
kulmassa, jonka seurauksena pistekuorma nousee mainittua suuremmaksi. Nasta aiheuttama kuormitusluku on suuri, mutta on muistettava, että merkintämateriaali ja tien pinta joustavat aina ja siksi iskun vaikutus vaimennee jonkin verran.

Liikenteessä olevista nastoista 99% on kuluneita ja nastan pinta-ala on kuluneena noin 1/3 uuden kokonaispinta-alasta, eli noin $1,5 \text{ mm}^2$. Jos nasta ei heti riko helmeä, niin se ainakin naarmuttuu ja näin mekaaninen kestävyys pienenee.

Nastarenkaan aiheuttaman iskun tutkiminen on hyvin vaikeata. Ongelmia aiheuttavat menetelmät ja mittalaitteet. Siksi missä tahansa esitettyjä arvoja sopii kyseealaistaa. Edellä esitetyt arvot on saatu yhdestä suomalaisesta koejärjestelystä. Oleellisinta on tässä kuitenkin tuoda esille lasin mahdollisuudet ja rajoitukset siinä ympäristössä, johon se liikenteelle altistuessaan joutuu.

Valmistuksesta

Lasihelmen valmistus on teknologisesti kannalta yksinkertainen prosessi. Raaka-aineena käytetty tasolasi murskataan, jonka jälkeen murske kuivataan. Seuraavassa vaiheessa murske jauhetaan hienoksi jauheeksi. Tässä vaiheessa tapahtuu mahdollinen välivarastointi siilossa. Siilosta jauhe siirretään uuniin, jonka lämpötila on noin 1.200°C . Uunin lämmittämiseen käytetään maakaasua, jolla saavutetaan korkea lämpötila riittävän nopeasti. Lasijauhe ohjataan avoimen liekin päälle ja lasi sulaa pieniksi pisaroiksi. Uuniin johdetaan ilmaa suurella paineella, jonka seurauksena lasipisara leijaillee ylöspäin. Uunin yläosassa lämpötila on laskenut alle 500°C :een. Siellä pisarat alkavat pudota ja saavat pyöreän muodon. Putoavat helmet kerätään seulastoon, jossa tapahtuu lajittelu. Jos helmille ei ole päätetty antaa pintakäsittelyä, on viimeisenä vaiheena pakkaus. Mahdollinen pintakäsittely tapahtuu ennen pakkausvaihetta.



Karkea kuvaus lasihelmen tuotantoprosessista.

Tuotannon suurimmat muuttuvat kustannuserät muodostuvat energiasta ja raaka-aineesta. Butaania voidaan käyttää, mutta se on kallista ja se ei ole yhtä nopea ja tehokas kuin maakaasu. Öljyllä ei saavuteta riittävän korkeata lämpötilaa.

Kun lasihelmi pinnoitetaan jollain muulla aineella kuin silikonilla, voidaan pintakäsittelyssä käytettävä aine ottaa jo huomioon valmistusprosessissa. Helmi

käsitellään kemiallisesti sellaiseksi, että sen pinta pystyy sitomaan suunnitellun pinnoiteaineen paremmin kuin käsittelemätön. Esimerkkinä tämäntyyppisestä menetelmästä on tasolasin valmistuksen aikana silaanikaasun lisääminen lasimassaan, jolla lasin pintaan saadaan tasalaatuinen piioksidikerros. Näin lasin pinnan kemialliset ominaisuudet ovat muuttuneet oleellisesti käsittelemättömään lasiin nähden. Lasin pinnalle voidaan myös höyrystää eri aineita.

Pintakäsittelystä

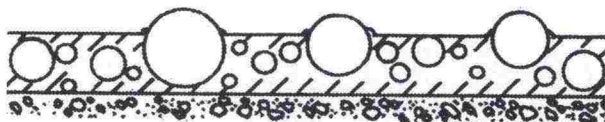
Helmen pintaa voidaan käsitellä niin, että helmi saa erilaisia ominaisuuksia. Pinnoiteaineina käytetään silikonista, silaania ja/tai kellunta-ainetta. Näiden lisäksi helmet voidaan käsitellä kovettimella. Pintakäsittelyn aiheuttama massan lisäyksen osuus kokonaispainosta on selvästi alle 1%.

Pinnoituksessa helmien päälle ruiskutetaan haluttu tai halutut aineet, jotka ovat nestemäisessä muodossa. Tämän jälkeen helmet kuivataan, tarkastetaan ja pakataan.

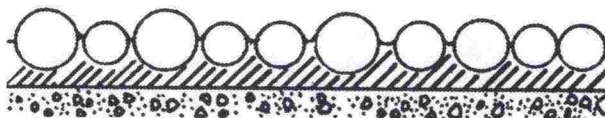
Helmet kelluvat, kun ne käsitellään kellunta-aineella. Kelluntakäsittely takaa sen, että ne eivät uppoa sideaineeseen, vaan kiinnittyvät siihen optimaalisesti.

Kelluntakäsittely voidaan antaa silaanilla käsitellyille helmille.

Tavalliset helmet



Kelluntahelmet



Käsittelemättömiä ja kelluntakäsiteltyjä helmiä.

Kellunta-aine vaikuttaa samalla lailla kaiken kokoisiin helmiin ja saa ne kellumaan 50% nestepinnan yläpuolella. Pintakäsittelyn tarkoituksena on saada levitepinnan paksuudesta riippumaton tasainen sirotepinta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lasihelmet eivät uppoa paksuun maalilevitteeseen, joka tapahtuu käsittelemättömille ja silikonikäsitellyille helmille. Kellunta-aine vaikuttaa myös helmen kirkkauteen epäsuorasti siten, että helmen päälle roiskunut maalipisara valahtaa päältä pois ja pitää näin helmen puhtaana.

Koska kaiken kokoiset helmet kelluvat, tarjoavat ne hyvin toimivan paluuheijastuspinnan. Vaikka kelluntakäsitelty helmet ovat tavallista kalliimpia, saavutetaan niillä hyvä toiminnallisuus ja levityslaitteistosta riippuen on mahdollista päästä myös materiaalisäästöihin. Helmien raekoon jakauman ei välttämättä tarvitse olla laaja, vaan hyvään tulokseen päästään suppealla jakaumalla ja pienemmällä sirotemäärällä. Esimerkiksi 1,8 kg kapea-alaisia kellunta-aineella käsiteltyjä helmiä antaa jotakuinkin saman paluuheijastuvuuden kuin 2,6 kg normaali-jakauman silikonikäsitelty helmet. Hyvän tuloksen saamiseksi helmien levitys edellyttää kuitenkin paineen alaista tarkkaa järjestelmää.

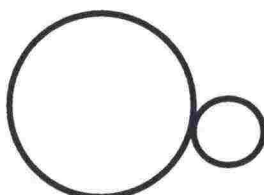
Kylmämassasovelluksissa saatetaan käyttää helmiä, jotka on käsitelty katalyytillä. Tällöin helmet saavat peroksidikylvyn.

Ulkonäöstä

Helmen pinta on sileä, koska se on lasin ominaisuus. Tästä huolimatta on luonnollista, että pinnassa on aina pientä vikaa, kuten säröjä, hiushalkeamia ja sulkeumia. Mahdollisimman tasainen pinta saadaan float-lasille; helmille vastaavan pinnan saaminen on käytännössä mahdotonta jo pelkästään karkean valmistusprosessin takia.

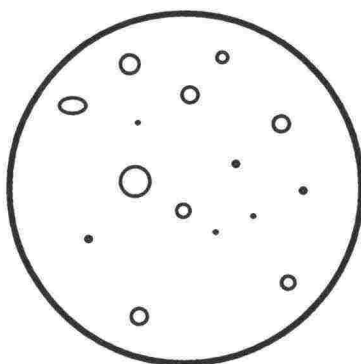
Tiemerkinnöissä käytettyjen lasihelmien muodoille asetetaan vaatimuksia. Helmen muoto, rakenne, puhtaus, väri ja kirkkaus on määrätty ja niistä poikkeamat katsotaan epäpuhtauksiksi.

Helmen muodostumisvaiheessa niihin helposti kiinnittyy yksi tai useampi helmi ja tämä on ikävin hankaluus tuotantoprosessissa. Kun helmeen on kiinnittynyt kaksi helmeä, niin niitä kutsutaan satelliiteiksi. Valmistuserästä voi satelliitteja olla 0,1 ... 0,2%.



Satelliitti.

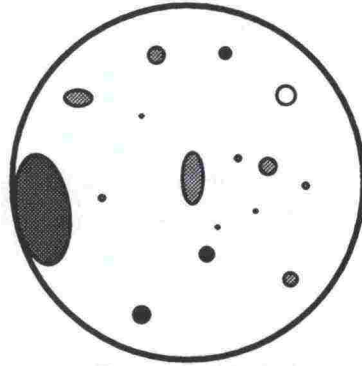
Joskus helmen sisälle jää kaasukuplia. Kuplien esiintyminen kielii keskenjääneestä sulatusvaiheesta tai siitä, että kaikki raaka-aineet eivät ole sekoittuneet kunnolla keskenään. Lasimassa ei ole tällöin kauttaaltaan homogeenistä.



Kuplallinen helmi.

Helmi voi olla samea kahdesta syystä. Se on joko opaalinainen tai maitomainen. Sameus voi johtua mm. jauhetun rakeen vajavaisesta sulamisesta tai hiertymisestä. Myös raaka-aineessa olevat epäpuhtaudet vaikuttavat merkittävästi.

Joissakin tapauksissa saattaa esiintyä epäpuhtauksia, jotka ovat yleensä hiekkaa tai soraa. Epäpuhtaudet pyritään poistamaan täryttimen avulla heti murskauksen jälkeen, mutta joissakin tapauksissa hiekan ominaispaino on sama kuin lasinkin eli $2,45 \dots 2,55 \text{ g/cm}^3$ ja silloin vieraita aineita saattaa seurata prosessiin.



Epäpuhas helmi.

Helmien sekaan voidaan tarkoituksella sekoittaa kitkaa tai pinnan profiloitumista edistäviä aineita. Silloin niiden pH-arvon on pysyttävä säädetyissä rajoissa, ettei alkalikato pääse vahingoittamaan lasia.

Valmistuksessa syntyy useamman kokoista lasihelmeä. Eniten tuotannossa syntyy pieniä helmiä. Niitä käytetään heijastavissa kalvoissa ja nauhoissa. Suurimmat ja tiemerikinnän kannalta epäpuhtaat lasihelmet käytetään hiekkapuhalluksessa. Räjähdysaineteollisuus käyttää onttoja helmiä hapen lisääjänä. Muu muoviteollisuus käyttää lasihelmeä täyteaineena ja parantamaan sekä keventämään muovin rakennetta.

Seulonnasta ja sekoitteista

Tiemerkinnöissä käytetään helmisekoitteita riippuen käyttötarkoituksesta ja kohteesta. Sekoite muodostuu yhdistelemällä sopivasti seulontatuloksia.

Seulontaa varten on määrätty standardit jo ennen lasihelmille tarkoitettua CEN-normiehdotusta. ISO 565 (Test sieves - Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet - Nominal sizes of openings) määrää seulan ja reiän koon. ISO 2591 - 1 (Test sieving. Part 1. Method using test sieves of woven wire cloth and perforated metal plate) määrää seulontakokeen menetelmän.

Helmen käytöstä

Lasihelmien käyttöä on syytä tarkastella useammalta suunnalta, nimittäin miten, mikälaisia, missä ja kuinka paljon helmiä milloinkin käytetään. Tässä yhteydessä on myös syytä käsitellä eri sideaineista ja helmien pintakäsittelystä johtuvat rippuvaisuudet sirotteen määrään sekä miten helmi sitoutuu sideaineeseen.

Lasihelmiä käytetään tiemerikinnöissä neljällä tavalla: täyteaineena, sekoitettuna valmiiksi sideaineeseen, pintasirotteenä ja yhdistettynä esisekoitus ja pintasirote.

Massan täyteaineena voidaan käyttää luokittelemattomia helmiä. Tällöin helmien osuus esim. kuumamassan painosta saattaa olla jopa 40%.

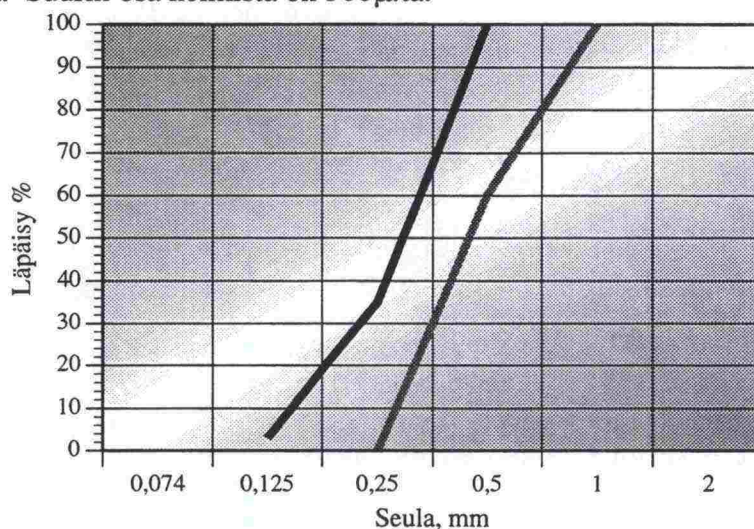
Normaalisti kuuma - ja joihinkin kylmämassoihin sekä mahdollisesti maaleihin lisätään laatuhyväksyttyjä lasihelmiä parantamaan paluuehjästävyyssominaisuuksia ja tätä kautta toiminnallista kestoikää. Tässä tapauksessa lasin osuus massan painosta on 20%. Sekoite voi rakkooltaan olla suhteellisen kapea-alainen.

Suurimmat helmet ovat hieman yli 1 mm ja pienimmät noin 425 μ m, joita on eniten. Tämä on esim. Englannissa yleisesti käytetty sekoite. Ongelmana on kuitenkin se,

että suurimmat helmet irtoavat helposti. Ilmeisesti Ruotsissa on löydetty kylmään ilmanalaan sopiva helmisekoite, joka pysyy kuumamassassa paremmin kuin Englannissa käytetty sekoite. Siinä suurin helmi on 800 μ :tä ja pienimmät noin 300 μ :tä. Raekokojakauma on miltei sama kuin pintasirotteessakin.

Jos maaleihin sekoitetaan helmiä, on niiden jakauma laaja. Helmen koko on pieni. Suurin helmi on 297 μ :tä ja pienin 74 μ :tä. Suurin osa helmien koosta jakaantuu 210 ... 105 μ :n välille. Helmen tulee olla niin pientä, että se ei tuki maaliruiskujärjestelmää.

Pintasirotteena käytetään laatuhyväksyttyjä helmiä. Sirotteen määrä vaihtelee suuresti riippuen paikallisista määräyksistä, käytetystä sideaineista ja sirottesekoitteesta. Maalien ja ohutlevitteisten kuuma- ja kylmämassojen pintasirotteen määrä on suoraan riippuvainen levitteen paksuudesta, helmien raekoosta ja helmien pintakäsittelymateriaaleista. Yleensä käytetään suhteellisen kapea-alaista sekoitetta. Seos on kuitenkin hieman laaja-alaisempi kuin mitä esisekoitettujen helmien kohdalla. Suurimmat helmet ovat 850 μ :tä ja pienimmät noin 180 μ :tä. Suurin osa helmistä on 300 μ :tä.



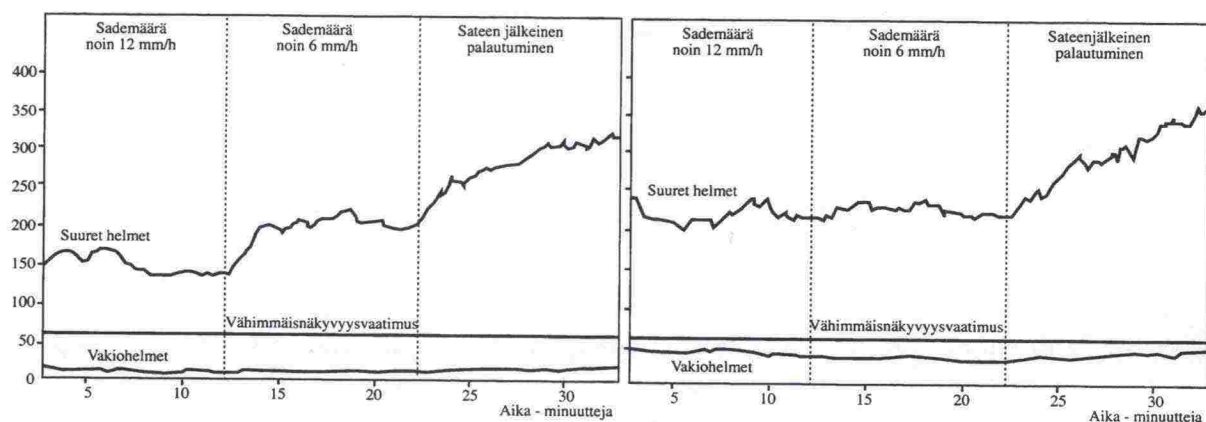
Helmien raekoon jakautuminen seulonnessa.

Pintasirotteen annostelussa ja sitä koskevassa ohjeistuksessa on otettava huomioon eräs tärkeä seikka ja se on helmen ominaispaino. Ominaispaino on suoraan riippuvainen valmistuksessa käytettyihin raaka-aineisiin. Kun lasihelmen valontaiteroin halutaan 1,50 suuremmaksi, kasvaa myös ominaispaino. 1,65:llä ominaispaino nousee 1,22 kertaiseksi mitä se on 1,50:llä ja 1,90:lla se on 1,84 kertainen.

Erilaisia sekoitteita käytetään ja kokeillaan. Pyrkimyksenä on saada paluuheijastuvuus kostealla säällä nousemaan huomattavasti nykyisestä tasosta. Ehkä yksi menestyksekkäimmiksi sekoitteiksi on osoittautunut aivan pienen helmen, ns. mikrohelmen (<125 μ) ja suuren helmen (noin 2 ... 3mm) yhdistelmät. Sekoitteen rungon muodostavat keskikokoiset helmet.

Suurten helmien soveltuvuutta tiemerkintöihin on jo ehditty tutkia ja niistä on jo tuloksia saatavilla. Suurilla helmillä pyritään saavuttamaan hyvä näkyvyys kostealla kelillä. Ajatus suuresta helmestä perustuu siihen, että vaikka sateen

aiheuttama vesikalvo peittää merkinnän, helmestä osa on koko ajan vesikalvon yläpuolella. Toinen merkittävä ero suurella helmellä tavalliseen nähden on se, että suuri helmi tulee nopeasti näkyviin vesikalvon ja kosteuden alta sateen jälkeen. Kun sade on loppunut, niin merkinnän päällä oleva tavallinen sirotehelmi helmi ei ole vielä näkyvissä, joten paluuheijastuvuutta ei ole. Merkinnällä, jossa on suuria helmiä, on koko ajan paluuheijastuvuutta ja 10 minuuttia sateen jälkeen paluuheijastavuus on noussut n. 50 ... 60% riippuen sideaineesta ja sen väristä. Tulokset perustuvat laboratoriossa suoritettuihin sadetustunnelikokeisiin, jossa sateen määrää voidaan vaihdella.



Laboratoriokokeissa aikaansaadut merkintöjen elpymisajat sateen jälkeen. Vasemmassa kuvassa sideaine on tietty epoksi ja oikeassa tietty kuumamassa. Kummassakin kuvassa pienin sallittu paluuheijastus on noin 60 mcd/lux/m², joka vastaa suurin piirtein metristä tapaa laskea arvo. Taso alla on tavallinen helmi ja kasvava kuvaaja esittää suuria helmiä.

Uutena suuret helmet tarjoavat hyvän toiminnallisuuden. Valitettavasti miltei poikkeuksetta kenttäkokeet useimmissa maissa ovat osoittaneet suurien helmien heikon menestyksen merkinnässä. Ne eivät pysy kiinni. Suurien helmien kohdalla esiintyy myös toinenkin ongelma ja se on suoraan riippuvainen käytetystä sirotustekniikasta. Vapaasti valuva sirote soveltuu huonosti levitykseen. Jo normaalissakin vauhdissa iso helmi saa niin suuren liike-energian, että se ehtii pyörähtää määrässä materiaalissa ennen lopullista tarttumistaan. Helmi on tahraantunut toimintakyvyttömäksi. Jos sirotus tapahtuu paineen alaisena, on helmellä teoreettinen mahdollisuus säilyä puhtaana, mutta silloinkin työnopeuden kaiketi pitäisi olla tavallista pienempi. Liike-energia lienee tässäkin tapauksessa kuitenkin se suurempi ongelma. Paine nimittäin saa helmen vinhaan pyörivään liikkeeseen, jonka pysäyttämiseksi tarvitaan valuvaan sirotukseen nähden suurempi voima. Kuinka paljon työnopeutta olisi laskettava ja kuinka suuri voima pysäyttää helmen kerralla? Kysymyksiin on vaikea vastata, koska sitten kuvaan astuu merkintämateriaalin levitepaksuus ja viskositeetti, joka on tapauskohtainen ja riippuvainen sääolosuhteista. Teollisen koesuunnittelun avulla voitaisiin saada tyydyttävä lopputulos aikaiseksi.

Mikrohelmien käyttöä taas perustellaan sillä, että niitä saadaan enemmän pinta-alaa kohti ja jos isku rikkoo yhden 1mm:n kokoisen helmen, niin sama isku ei välttämättä riko kaikkia 4 ... 5:ttä mikrohelmeä, jotka mahtuvat samalle alueelle kuin 1mm:n helmi. Toinen perustelu on se, että merkinnän pinnan luonnollinen profilointi tulee käytettyä paremmin hyväksi kuin mitä isompaa helmeä käytettäessä tulee. Helmet tunkeutuvat pieniin rakosiin, osuu ja tarttuu paremmin jyrkkään pintaan. Tätä periaatetta käyttää hyväkseen mm. Plastiroute Aquaflex®-tuotteessaan.

Ongelmana pienissä helmissä on niiden pölyävyys ja herkkyyys tuulelle. Siksi mikrohelmet edellyttävät paineen alaisen hyvän ja tarkan levitystekniikan.

Kokeiltavana on myös sekoitteita, joissa helmien valontaitekertoimet vaihtelevat. Osan sekoitteesta muodostaa ns. lentokenttähelmet, joiden valontaitekerroin on 1,90 ja näiden käytölle löytyy hyvät perusteet. Pyrkimyksenä on saada merkintä toimimaan hyvin vilkkailla liikenneosuuksilla, joissa pitkien valojen käyttö on käytännössä mahdotonta. Merkinnöiltä vaaditaan samaa suorituskykyä, kuin pitkillä valoilla ajettaessa ilman vastaantulijoita.

Sirotteessa käytettävien helmien raekokoa rajoittaa sideaineen levitepaksuus. Toinen erittäin merkittävästi raekokoa ja sen kokojakautumista rajoittava tekijä on itse sideaine. Maaleilla ja ohutlevitteisillä kylmämassoilla on ominaisuus sitoa helmet erittäin hyvin. Tämän takia helmien osuus levitetyssä sideaineessa ei saa ylittää sideaineen valmistajan suosittelemaa enimmäisrajaa. Jos raja ylittyy, levitteen tartuntakyky tien pintaan laskee jyrkästi. Tämän takia kylmämassojen helmisiroitus tulisi suorittaa asianmukaisella laitteistolla, jotta taattaisiin sideaineen ja helmien oikea suhde.

Helmien määrää ja raekokoa tulee myös tarkastella merkinnän käyttötarkoitusta vastaan. Jos merkinnän kestoikä suunnitellaan pitkäksi ja levitepaksuus 2,0 ... 4,0 mm, raejakauma voisi olla laaja. Lyhytikäisessä merkinnässä raejakauma voisi olla edellistä kapeampi ja koko lähellä ylärajaa.

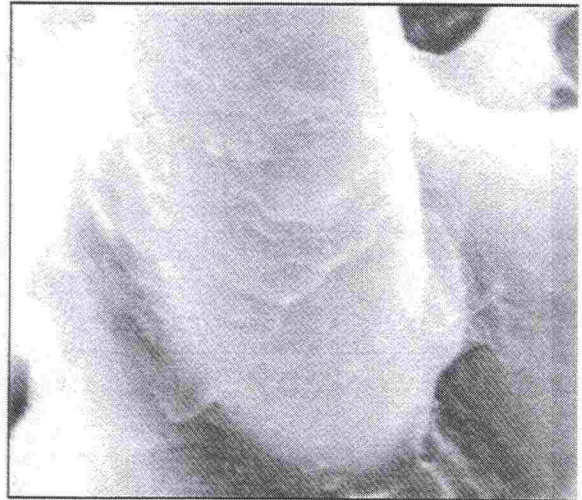
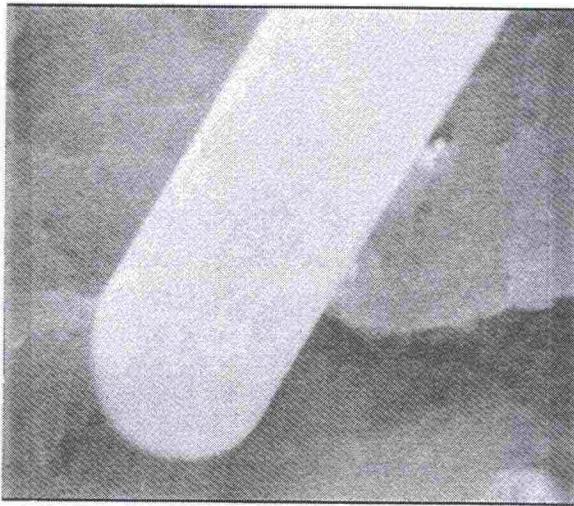
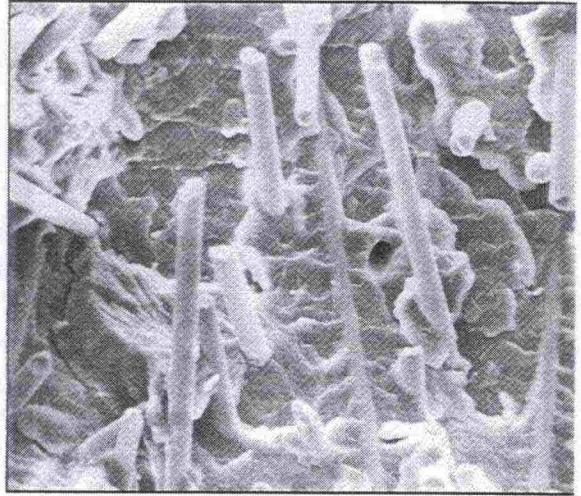
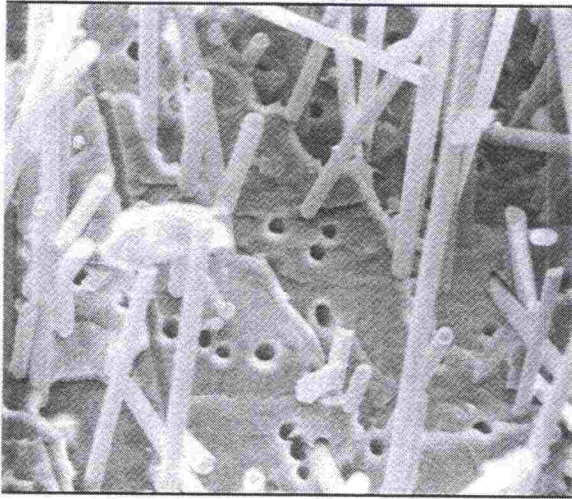
Helmen kiinnittymisestä sideaineeseen sekä lisää pinnoituksesta

Kiinnittyminen jaetaan tässä kahteen käsitteeseen: tarttumiseen ja sitoutumiseen. Tarttumisella tarkoitetaan ikään kuin otetta pallosta ja sitoutumisella pallon liimaantumista käteen niin, ettei se lähde irti ravistamallaan. Helmen kiinnittymiseen vaikuttaa kaksi voimaa: adheesio- ja koheesiovoima. Adheesiovoima on kahden kappaleen pintojen välinen kiinnevoima ja se vallitsee kuumamassoissa ja maaleissa. Koheesiovoima on molekyylien välinen kiinnevoima. Kylmämassoissa vallitsee adheesiovoima ja riippuen helmen kemiallisesta pintarakenteesta myös koheesiovoima. Voimien lisäksi nestemäisillä sideaineilla on kyky käyttäytyä kapillaarisesti. Tämä merkitsee sideaineen kuroutumista helmen ympärille ja näin helmi kiinnittyy hyvin.

Kuumamassa on kemiallisesti passiivinen ja kylmämassa reaktiivinen. Kylmämassoissa käytetyt hartsit normaalisti reagoivat laissa olevan piin oksidin kanssa muodostaen molekyylisidoksen. Helmen tulee silloin olla pintakäsittelemätön. Helmen sitoutumiseen vaikuttaa nyt adheesio- ja koheesiovoima. Koheesiovoima on tässä kuitenkin adheesiovoimaa heikompi.

Adheesiota parannetaan silaaneilla, jotka ovat liima-aineita ja kuuluvat OH-ryhmään. On oikeastaan makukysymys, että kuuluuko silaanisidos koheesiovoiman piiriin vai ei. Silaaneita on noin 750 eri tyyppiä. Ne ovat reaktiivisia aineita ja toimivat välittäjäaineina lasihelmen ja hartsin välillä. Lasimassaa voi valmistuksen aikana esikäsitellä niin, että jälkikäsitelyssä silaanipinnoite kiinnittyy siihen hyvin. Valmistuksen aikana sulaan lasimassaan ruiskutetaan kaasumaisessa muodossa olevaa silaania, jonka ansiosta lasin pintaan muodostuu tasalaatuinen piioksidikerros. Käytännössä lasimassan esikäsitelyä ei tapahdu, vaan lasihelmet peitataan jälkikäsitelyssä silaanilla. Helmet kastellaan silaanilla, jonka jälkeen ne

kuivataan. Lasiin silaani kiinnittyy hyvin, koska lasin pii- ja kalsiumoksidoissa on "tarttumisulokkeita", joiden kanssa silaani reagoi. Lasin ja sen pinnassa olevan silaanin välillä on syntynyt molekyyliidos. Kun helmen päällä oleva silaani kastuu sopivassa sideaineessa, tapahtuu reaktio, jossa happimolekyylit muodostavat sillan silaanin ja sideaineen välille. On syytä kuvata molekyylisiltaa esimerkin valossa, jotta harhakuvitelmia ei syntyisi. Lasihelmi on kuin sokeriliemeen kastettu potkupallo, joka on pyörinyt parturin lattialla olevissa hiuksissa. Silaaneita on käytetty lasikuiduissa jo noin 30 vuotta ja se on oleellinen osa muovitekniologiaa.



Vasemmanpuoleisia lasikuituja ei ole käsitelty silaanilla ja ne irtoavat sideainetupesta. Oikeanpuoleiset on käsitelty silaanilla ja ero viereisiin kuviin on merkittävä.

Silaaniteknologia on vanhempi kuin silikoniteknologia. Kummallakin puolella kehitys on viimeisten vuosien aikana ollut merkittävää. Kuitenkin on ollut hyvin hankalaa näyttää toteen, että silaanit todella käyttäytyvät väitetyllä tavalla lasin pinnalla sideaineeseen päin. Syitä on käytännössä kolme: valmistajien patentit ja siitä johtuva tiedon niukkuus sekä tutkimusmenetelmät. Käytössä olevat menetelmät eivät kunnolla anna mahdollisuutta ilmiön näkemiseen. Vain yksi menetelmä pystyy osoittamaan, että lasin pinnan piimolekyyliessä tapahtuu muutoksia, mutta sillä ei saada selville mitä, minkälaisia ja kuinka paljon.

Merkittävämpää on kuitenkin se, että ilmiön seuraukset ovat näkyviä silaanikäsitellyillä lasilla verrattuna käsittelemättömiin. Erot ovat merkittäviä.

Jos silaanin ja sideaineen välinen sidos tunnetaan huonosti, tunnetaan silaanin ja lasin välinen sidos varsin hyvin. Silaanin kytkeytyminen sideaineeseen on käytännössä polymerisoitumisprosessi. Tutkimuksissa käytetään spektrofotometrisiä menetelmiä. Helmen pinnoituksessa käytettävä silaani on sideaineen kokoomuksesta riippuvainen. Jos silaani ja etusijassa hartsi sekä polymeerit eivät sovi keskenään yhteen, silaanista tulee tuppi, josta helmi valahtaa tilaisuuden tullen pois. Massan täyteaineiden emäksisyys määrää myös hyvin voimakkaasti silaanin valintaa. Liian emäksinen täyteaine kääntää silaanin polymerisaatioprosessin suunnan päinvastaiseksi ja tuloksesta tulee epätoivottu. Jos käytetään aikaisempaa esimerkkiä, niin parturin lattialle on kaadettu sokerilientä ennen hiusten leikkausta.

Silaanikäsiteltyjä sirotehelmiä suositellaan kylmä- ja etenkin kuumamassoille. Silaani parantaa helmien valuvuutta ja estää riittävästi ilman kosteudesta johtuvan paakkuuntumisen sekä parantaa uuden helmisirotteen paluuheijastuvuutta. Silaani nimittäin estää hyvin tehokkaasti veden tunkeutumisen helmen hiushalkeamiin. Silaani esisekoitetuissa helmissä edistää sideaineen ja helmen sidosta poistamalla veden hylkivän vaikutuksen. Sideaineelle soveltuvimman silaanin etsii helmivalmistaja. Etsintä on käytännössä rämpimistä suossa silmät sidottuna. Kunnolliseen lopputulokseen pääseminen vaatii noin 200 koetta ja työ kestää vähintään kuukauden, ellei käytetä teollista koesuunnittelua. Tällöin lopputulos saadaan muutamassa päivässä. Etsintä kuitenkin kannattaa, sillä helmen kiinnittyminen massaansa paranee ja tällöin voidaan puhua sitoutumisesta tarttumisen sijasta. Lopullisessa tuotteessa - varsinkin kuumamassoilla - toiminnallinen ikä kasvaa, kun mittarina käytetään paluuheijastuvuutta.

Silaanilla on myös muitakin toiminnallisia ominaisuuksia. Ensinnäkin se vähentää helmen pintajännitettä. Sideaineen pinnalla olevien silaanikäsiteltyjen helmien päälle ei jää sideainepisaraita. Helmi on heti toimintavalmis. Toiseksi silaani täyttää lasissa olevat luonnolliset hiushalkeamat ja estää näin vesihöyryn pääsyn lasin sisään. Näin silaani estää lasissa olevien halkeamien etenemisen, jonka vesihöyry poikkeuksetta aiheuttaa.

Helmen ja massan välinen liitoskohta on nähtävä kahdessa vaiheessa: massan valmistuksen ja levityksen aikana. Valmistusvaiheessa silaanilla käsittelemätön lasi ja sideaine eivät tartu toisiinsa oli sitten kyseessä pulveri- tai harkkotuotanto. Tämä johtuu sekä sideaineen ja lasin fysikaalisista ominaisuuksista sekä näiden keskinäisestä yhteensopimattomuudesta. Teoriassa pulverivalmisteiden kyky sitoa helmet on heikkomat kuin harkkovalmisteiden. Tämä johtuu siitä, että pulverin eri aineet ja helmet kykenevät sitomaan ilman kosteutta itseensä. Harkkoissa helmet ovat suojassa ilman kosteudelta. Jos massan valmistus ja helmien säilytys tapahtuu ulkoilmassa tai sitä vastaavissa olosuhteissa, voi olla miltei varma siitä, että helmi on kapseloituneena sideaineeseen ja tilaisuuden tullen lähtee pois hyvin helposti. Mikäli käsittelemättömät helmet on valmistuksen aikana esilämmitetty, on kiinnittyminen edellistä parempaa, joskaan sitoutumista ei tapahdu.

Levitysvaiheessa helmen kiinnittymistä on tarkasteltava sirotteessa ja massan sisällä. Ilman esikäsitellyä kuumamassaan sirotehelmi ei sitoudu, vaan se tarttuu ja

silloinkin huonosti. Tämä johtuu siitä, että kuumamassalla ei ole luontaista sitomisominaisuutta. Kuumamassa ei kuroudu eikä se nouse kapillaarisesti helmen ympärille. Kuumamassa ei ole missään vaiheessa nestemäinen, vaan notkea. Kun sirotehelmi uppoaa massan pintaan, niin mikroskoopilla katsottuna näyttää siltä, että helmi on iskeytynyt pintaan. Massa helmen ympärillä voi olla tasainen tai painunut. Myös sideaineen ja lasin fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat edelleen ratkaisevasti lujan liitoksen syntyyn. Vaikka kuuma- ja kylmämassat ovatkin muoveja ja kummassakin käytetään samaa hartsia, käyttäytyvät hartsit toisistaan poikkeavasti johtuen niiden erilaisista olomuodoista.

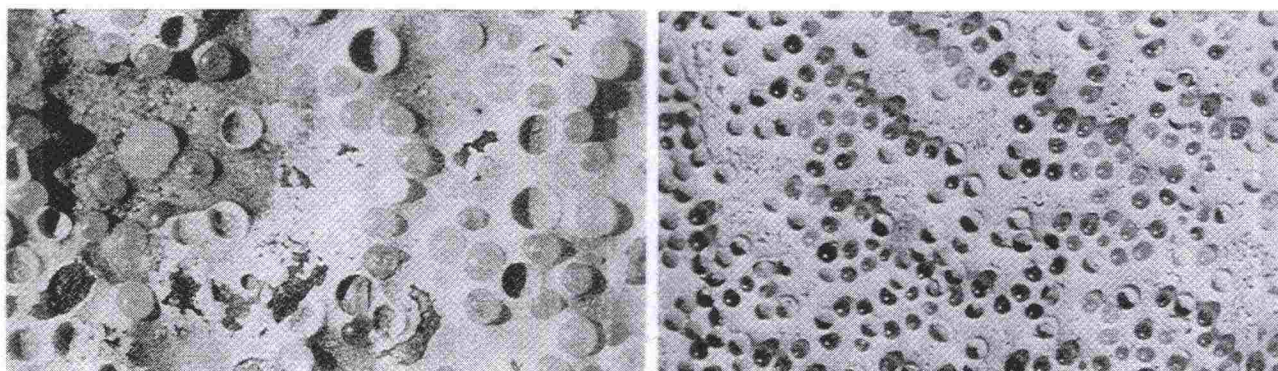
Pulverin tai harkon sulatus levityksen yhteydessä ei paranna esisekoitetun helmen kiinnittymistä sideaineeseen. Ellei helmi ole esikäsitelty silaanilla, lasin ja sideaineen yhteensopimattomuus säilyy. Kun silaani valitaan huolella, helmi sitoutuu kunnolla sideaineeseen vasta tässä vaiheessa ja molekyyllisillan ominaisuudet säilyvät sellaisina, että ne kestävät massaan kohdistuvat muutospainet, kuten tien pinnan lämpöliikkeen ja nastattomat rengasylitykset.

Silaanin käyttö kuumamassojen yhteydessä ei ole vailla ongelmia. Ensinnä on päätettävä missä helmissä silaanikäsiteltyjä helmiä käytetään: esisekoituksessa vai pintasirotuksessa. Jos esisekoitettujen helmien olisi tultava esiin massan kuluessa ja rapautuessa, silaanikäsitelty helmi ei saisi sitoutua sideaineeseen liian voimakkaasti. Hyvin sitoutunut helmi sitoo sideainetta itseensä ja ei mahdollisesti ole paljastuessaan niin puhdas kuin sen pitäisi. Tuotantovaiheen aikana massan valmistuslämpötilalla ja lämmölle altistumisaika ei pitäisi olla ratkaiseva, jos harkkojen valmistuserän tekemiseen ei kulu montaa minuuttia. Levitysvaiheessa silaanisidos joutuu lujille, sillä sidos on altistuneena lämmölle pitkän aikaa. Mitä kauemmin sidos on kuumassa sitä kovemmaksi se tulee ja lopulta sidoksesta tulee lasin hauras. Tämä johtaa väistämättä pohdintoihin siitä kuinka paksun silaanikerroksen tulisi olla. Tuotantoketju, levitysmenetelmät ja erien koot on harkittava tarkoin. Lasihelmitteollisuuden tarjoamiin palveluihin on syytä suhtautua varauksellisesti, sillä siellä ei välttämättä tiedetä mitä massan tuotanto- ja levitysprosessissa tapahtuu ja siksi massan koko elinkaarta ajatellen juuri oikean silaanin löytäminen on hyvin vaikeaa. Yleisesti voidaan sanoa, että tiemerikintäalalla silaaniteknologia on erittäin vaikeassa ympäristössä verrattuna muuhun muoviteollisuustuotantoon. Tiemerikintäteollisuudessa silaanin hyväksikäyttö vaatii kaikilta nykyistä korkeampaa osaamista ennen kuin tulokset ovat selvästi nähtävillä.

Tässä yhteydessä on hyvä käsitellä myös helmien sitoutumattomuutta.

Kuvasta on tulkittavissa se että, silikonikäsitteillä taataan varmasti helmien irtoaminen sideaineesta.

Silikoni on hyvin tehokas päästöaine. Sitä käytetään yleisimmin sellaisissa olosuhteissa, joissa helmet joutuvat vedelle tai ilman kosteudelle alttiiksi. Silikoni edistää helmien valuvuutta ja estää niiden paakkuuntumisen. Silikoni estää tehokkaasti myös helmien kiinnittymisen sideaineeseensa. Parhaiten silikonin vaikutus tulee esiin kuumamassojen yhteydessä - niissä silikonilla käsitelty helmi ei pysy. Nestemäisissä sideaineissa ongelma ei ole yhtä merkittävä sideaineen kuroutuvuuden johdosta.



Kummastakin kuvasta näkee, että helmet ovat irronneet helposti eri sideaineista.

Päästöaineominaisuuksiensa takia silikonista ollaan pyrkimässä eroon ja se pyritään korvaamaan aineella, jonka tartuntaominaisuudet sideaineeseen ovat huomattavasti paremmat. Juoksevuus- ja paakkuuntumisen esto-ominaisuudet pyritään saamaan yhtä hyväksi kuin silikonilla.

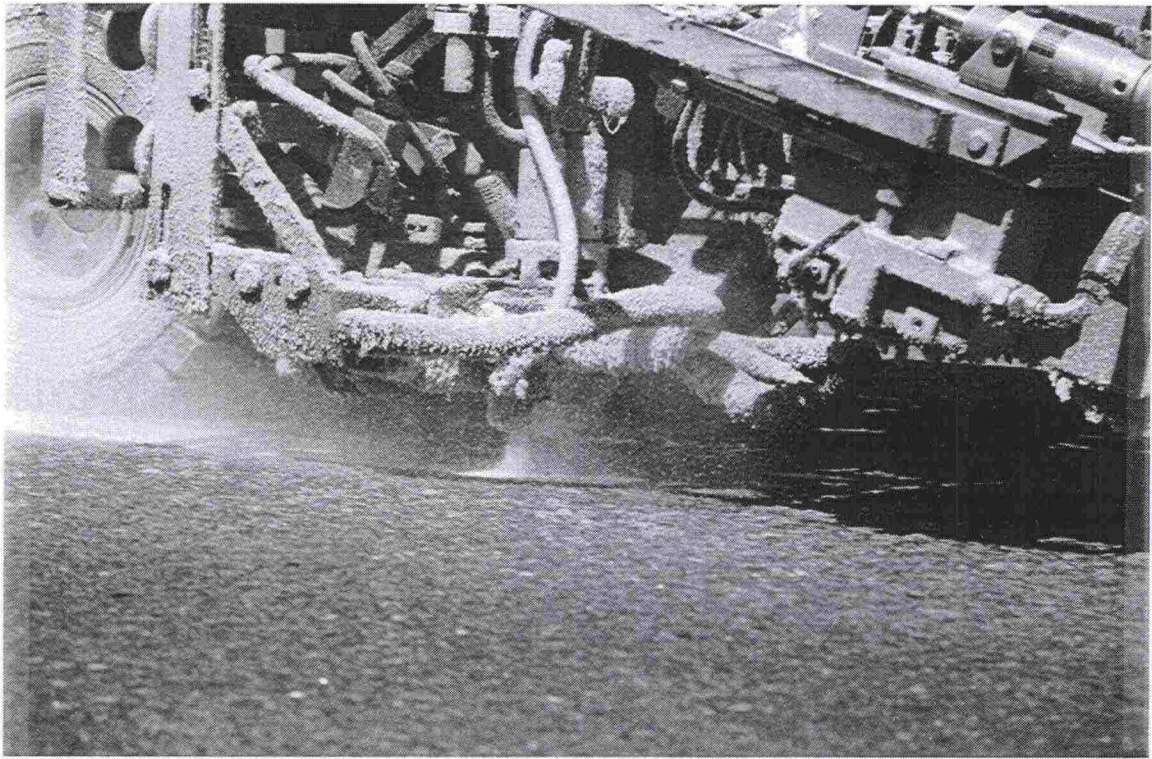
Kylmämassat ja maalit ovat nestemäisessä muodossa. Niillä on kyky sitoa helmi itseensä. Sitoutuminen tapahtuu kapillaari-ilmiön avulla, joka voi olla joko hallittu tai hallitsematon. Mitä pienempi helmi on, sitä helpommin kapillaarin nostama sideaine peittää helmen. Tällöin voidaan sanoa, että kapillaari on ollut hallitsematon. Silaanipinnoite toimii kahdella tavalla. Ensinnäkin se parantaa tarttuvuutta ja toisekseen sillä pystytään hallitsemaan sideaineen kuroutumista helmen ympärille.

Sirotehelmen ihanteellinen määrä on riippuvainen sideaineesta, levitepaksuudesta, helmen koosta ja sen pinnoituksesta. Nestemäisillä sideaineilla helmen koko muodostuu ratkaisevaksi, kun helmiä on siroteltava vakiomäärä sideaineeseen nähden. Liian isoja helmiä käytettäessä saattaa käydä niin, että liian paljon sideainetta nousee helmien väliin ja merkintä ei tartu tien pintaan. Kylmämassoilla helmien ihanteellinen määrä on sidoksissa kovettumisprosessin ohjautuvuuteen helmillä, käytetyn helmiseoksen pinta-alaan ja helmen pintakäsittelyyn.

Työturvallisuudesta

Vaikka lasi on kemiallisesti passiivinen aine, on lasihelmien käsittelyssä noudatettava suurta varovaisuutta. Vapaasti maahan joutuneena lasihelmet aiheuttavat tavattoman liukkaan pinnan jalankulkijoille ja muille tien käyttäjille. Samoin lasihelmen yliannostelu ja väärä sirotteen suuntaus saattaa muodostua riskiksi liikenteelle. Pölyn muodostumista tulee välttää, siksi helmet tulee mahdollisimman pian huuhdella pois vedellä.

Lasihelmen käsittely ei sinänsä aiheuta välitöntä terveysriskiä, ellei helmen pinnoituksessa ole käytetty pinnoiteaineita, jotka itsessään ovat kovan luokan myrkkijä. Altistuminen ärsytykselle voi tulla kyseeseen silloin, kun hengityksen mukana tulee helmipölyä. Silmiin joutunut helmipöly aiheuttaa myös ärsytystä. Silloin silmät on huuhdeltava runsaalla vedellä ja sen jälkeen mentävä lääkäriin. Ruuansulatuskanaviin joutuneena samoin kuin ihokosketuksen yhteydessä pinnoittamaton lasihelmi ei ole terveydelle vaarallinen.



Spray-menetelmässä lasihelmet puhaltuvat kovalla paineella ja joutuvat helposti 2 m:n etäisyydeltä jalan kulkevien ihmisten ja eläinten silmiin. Kuvassa sinkoamisen huomaa helposti. Lasihelmiä käsiteltäessä on käytettävä hengitys- ja silmäsuojaimia sekä käsineitä.

Joistakin valmistajista

Länsi-Euroopassa ja USA:ssa on muutama merkittävä helmivalmistaja. Suurimmilla niistä on ISO 9003 -laatuluokitus ja muut pyrkivät noudattamaan sitä. Laatuluokitus ei takaa tuotteen laatua. Seuraavassa on mainittu joitakin valmistajia, mutta lista ei ole kattava:

Sovitec (Belgia) on suuri helmien valmistaja, jonka omistaa Glaverbel (Belgia). Glaverbel itseasiassa on tasolasin valmistaja ja jolta Sovitec hankkii raaka-aineensa. Sillä on jonkin verran tuotekehitystä ja hyvin varustettu laboratorio. Helmen laadunvalvonta on nopeaa. Helmien laatua valvotaan nopealla Visobille®-järjestelmällä. Visobille® perustuu helmien paluuheijastuvuuteen ja raekoon tarkkailuun. Järjestelmällä pystytään seuraamaan täyteaineiden osuutta helmisekoitteessa. Visobille®-järjestelmän rungon muodostaa mikroskooppi, josta on tarvittaessa yhteys tietokoneeseen tapahtuvaan hahmontunnistukseen.

Potters-Ballotini (USA), jolla on lasihelmivalmistusta ympäri maailmaa ja on näin alallaan suurin että vanhin. Pottersilla ei ole omaa tasolasituotantoa, joten helmen valmistuksessa käytettävän raaka-aineen se sekä ostaa että osin valmistaa itse. Englannissa sijaitseva tuotantolaitos toimittaa Eurooppaan. Asiakkaiden puolelta tulleiden vaatimusten takia Englannin tuotantolaitos on nostanut merkittävästi laatutasoansa aikaisempiin vuosiin nähden. Laadun parantaminen on edellyttänyt investointeja sekä laite- että henkilöstöresursseihin.

Swarco West Glassilla (Itävalta) on yksi toiminnassa oleva tuotantolaitos Euroopassa. Swarcolla on omatoimisesti tehty erittäin laajoja pinnoitekokeiluja ja henkilökunnan osaamisen taso on erittäin korkea.

Glasbeads GmbH (Saksa) on uusin ja teknisesti uudenaikaisin Euroopassa sijaitsevista tuotantolaitoksista. Glasbeads GmbH osti entisen Itä-Saksassa toimineen tuotantolaitoksen tilat ja uusi koko laitteiston. Sillä on kaksi uunia ja se pystyy valmistamaan lasihelmiä lasin raaka-aineista lähtien. Normaalisti se käyttää murskattua ikkunalasiasia. Glasbeads GmbH noudattaa ISO9000-standardeja. Yrityksellä on vahva osaaminen maaleista, kylmä- ja kuumamassoista ja he ovat valmiita yhteistyöhön merkintämateriaalivalmistajien kanssa.

North-East Safety Products, NESP (USA) - on USA:n pienin neljästä helmivalmistajasta, ja se on tällä hetkellä ainoa amerikkalainen yritys, joka markkinoi tuotteitaan Eurooppaan.

Pohjoismaissa lasihelmien toimitukset ovat pääsääntöisesti keskittyneet kahdelle toimittajalle, nimittäin Sovitecille ja Potters-Ballotinille ja syy on selvä. Kummatkin ovat panostaneet tien päälle tulevien lasihelmien tutkimukseen, tuotekehitykseen ja laadunvalvontaan. Myös Glasbeads GmbH on saavuttamassa jalansijaa pohjoismaisilla markkinoilla.

Ajatuksia helmistä

Sitä, että onko lasihelmien optiset ominaisuudet ihanteelliset nykypäivän tieliikennettä ajatellen, ei kaikeksi toistaiseksi olla asetettu kyseenalaiseksi. Voitaneen kuitenkin olettaa, että arvot ovat lähellä optimia, koska ikkunalasin valontaitekerroin ohjataan 1,52 ... 1,53:n väliselle alueelle. Lentokentillä käytettyjen lentokenttähelmien valontaitekerroin on laskettu 1,90:ksi ja niissä käytettävä massa on juuri sitä tarkoitusta varten valmistettu. Tiemerkinnoissa ja heijastekalvoissa käytetään lasia, jonka valontaitekerroin on 1,50 ... 1,53.

Valontaitekertoimella on suora yhteys katselukulmaan. Kun kuitenkin valoilla ajettaessa 97% käytetään lyhyitä valoja, vastaantulevan liikenteen aiheuttaman häikäisyn takia näköetäisyys lyhenee ja siitä johtuen katselukulma näkymäalueella kasvaa. Merkinnän tulisi toimia lyhyillä valoilla vastaantulevassa liikenteessä yhtä tehokkaasti kuin yksin pimeällä pitkällä valoilla ajettaessa. Merkinnän tulee pystyä kilpailemaan häikäisyn kanssa niiden eri vaiheissa. Siksi merkinnässä olevan lasihelmen sekoitus tulisi muodostua helmistä, joiden valontaitekerroin olisi 1,45 ... 1,90. Asiasta ei ole vielä tutkimustuloksia. Sitä mukaan, kun tiemerikintöihin on kiinnitetty enemmän huomiota, asiasta on ryhdytty keskustelemaan. Tällä hetkellä onkin useita vilkkaasti liikennöityjä tieosuuksia, joissa kokeillaan tavallisesta ja lentokenttähelmestä tehtyä helmisekoitetta. Valitettavasti vertailuja ja mittauksia ei pystytä suorittamaan absoluuttisin menetelmin, vaan tulokset perustuvat havainnointiin. Syy tähän on ensinnä se, että nykyiset mittausten menetelmät ja mittarit perustuvat määriin eikä laatuun. Toisekseen näkemisen laatuun keskittynyt tutkimus on vielä sangen nuorta ja se ei ole vielä kehittynyt niin pitkälle, että tuloksia voitaisiin käyttää liikenteen hyväksi. Selvästi on pystytty osoittamaan, että mitä paremmasta raaka-aineista lasihelmet on tehty ja mitä puhtaampia ne ovat, sitä paremmin merkintä näkyy ja tällöin puhutaan helmistä, joiden laatu on huomattavasti CEN-laatuvaatimuksia korkeammalla.

Muut

Tiemerkinnöissä lasihelmien valtakausi on kestänyt jo noin 50 vuotta ja olisi luultavaa, että uusia materiaaleja olisi ilmaantunut markkinoille. Tutkimukseen ja tuotekehitykseen on panostettu paljonkin, mutta turhaan. Jo pelkästään 3M on panostanut 500 miljoonaa dollaria ilman näkyviä tuloksia. Ilmeisesti lasia ei voi korvata niillä ehdoilla, joilla sitä käytetään. Lähestymistavan on oltava toinen.

Muovia on yritetty käyttää korvaavana materiaalina, mutta sen kestävyys- ja valominaisuudet eivät vastaa lasia.

Heijastekalvoja varten kehitettyjä mikroprismoja tai sen kaltaisia ratkaisuja ei voi käyttää, sillä heijastava pinta edellyttää tarkkaa asentamista ja se ei onnistu nykyisillä levityseräillä.

On mitä todennäköisintä, että kaikki tähänastinen kehitystyö on perustunut sille olettamukselle, että autojen ajovalot ja tievalaistus on annettu tekijä. Siksi kehityksen tai muutoksen tulisi lähteä huomattavasti laajemmalla pohjalla ja muusta suunnasta kuin tiemerkintäteollisuudesta itsestään.

Eureka projekti 273, joka tunnetaan paremmin nimellä VEDILIS - VEHICLE DIScharge LIGHT System - perustettiin kehittämään autoja varten kaasupurkauslamppu. Tästä yksi sovellus on UV-valonheitin, jolla pyritään parantamaan nykyisestä huomattavasti ajajan havaintoetäisyyttä. Kokeissa havaintoetäisyys onkin kasvanut kolminkertaiseksi tavalliseen H4-halogenilamppuun nähden silloin, kun valaistavassa kohteessa on UV-valossa luminisoivaa ainetta.

UV-valoja käsitellään enemmän kohdassa "UV-valot".



UV-koetieosuus lähellä Göteborgia, jolla sekä kaiteet ja kaikki tiemerkinnät hohtavat UV-valossa. Tiemerkinnöistä ei ominaisuutta silmin näe.

UV-toteutuksella saavutetaan sellaisia etuuksia, joihin ei perinteiset ratkaisut yllä. UV-valo käyttäytyy eri lailla kuin näkyvä valkoinen sekavallo. UV-valo ei taitu vedessä, vaan jatkaa suoraviivaisesti etenemistään. Vesi ei liioin muuta UV-valon optisia ominaisuuksia. Siksi se tunkeutuu vesikerroksen läpi ja tekee sille tarkoitetun tiemerkinntän näkyväksi. UV-valo pystyy tunkeutumaan myös ohuen lumi- ja jääkerroksen läpi.

Tässä tapauksessa helmiä ei ole tarkoituskaan korvata, vaan lisätään merkinntässä jo käytössä olevien materiaalien ominaisuuksia. Fluorisoivat aineet eivät ole uusia, mutta niiden käyttöalueet kasvavat.

Merkinnät eri pinnoissa

Eri pintamateriaalit

Merkintä voidaan tehdä vanhojen merkinntöjen päälle, asfaltille ja betonille. Jokaisen pinnan kohdalla esiintyy vaikeita ongelmia. Valitettavan usein ongelmasta syytetään materiaalia, vaikka virhelähteitä voi olla muuallakin. Epäonnistumiseen johtaneita syitä on yleensä enemmän kuin yksi ja kun niiden yhteisvaikutuksia ei aina tunneta tai havaita, jää moni asia selittämättä. Ongelman syyhyn on näinollen vaikea puuttua. Tietysti materiaaleissakin voi olla "vikaa", mutta varsinaisen ongelman juuret ovat useimmiten syvemmällä; tien ja merkinntän rajapinnassa.

Vanhat merkinntät

Kylmä- ja kuumamassat saattavat lohkeilla. Lohkeilevan merkinntän päälle ei uutta merkinntää saa laittaa, vaan se tulee poistaa tarkoituksen mukaisella tavalla. Kerran kovettunut kylmämassa ei enää liukene tai sula ja uusi kuumamassa ei sulata vanhaa massaa, joten lohkeilua ei voi korjata millään.

Silloin, kun vanha merkinntä on tiukasti kiinnittynyt, voi sen päälle laskea uuden merkinntän kuitenkin sillä ehdolla, että materiaalit eivät reagoi keskenään tai hylji toisiaan. Yleensä vain saman valmistajan samaa materiaaliaa voi käyttää, mutta silloinkin varauksella. Jotkin kylmämassoissa käytetyt polyesterihartsitoteutukset käyttäytyvät hyvin vanhan kuumamassamerkinntän päällä, mutta yleensä ei päinvastoin. Liuotinmaaleja on voinut levittää jotakuinkin huolettomasti vanhojen merkinntöjen päälle, mutta maalien päälle ei ole voinut laskea kuumamassoja. Tämä on nyrkkisääntö, mutta tuotekohtaisia poikkeuksia löytyy. Yleensä polyesteripohjaiset kylmämassat ja liuotinmaalit ovat soveltuneet hyvin ristikkäin. MMA:ta (Methylmetakrylaatti) ei suositella laskettavaksi minkään vanhan merkinntän päälle. Epoksipohjaiset kuuma- ja kylmätoteutukset on aina laskettava ehdottomasti neitseelliselle ja puhtaalle pinnalle. Epoksi ei tartu edes itseensä.

Uusista vesipohjaisista maaleista ei vielä ole kokemuksia siitä miten ne käyttäytyvät joutuessaan tekemisiin toisten materiaalien kanssa. Aikaisemmin vesipohjaisten maalien kohdalla ei ongelmaa ole esiintynyt, koska maali on kulunut pois ennen seuraavaa merkinntää.

Asfaltit

AB-päällysteistä

Uudet AB-asfalttipinnat aiheuttavat usein ongelmia merkintöjen kannalta. Uusi perinteinen AB-asfaltti, joka on valmistettu tiebitumista, tihkuu erittäin herkästi (bleeding) ja sen pintaa peittää öljyinen kerros, jonka takia harva merkintä pysyy siinä heti. Varman poikkeuksen muodostavat teipit ja nastat. Myös jotkut polyesteripohjaiset kylmämassat ja hiilivetypohjaiset kuumamassat saattavat pysyä tuoreessa asfaltissa, mutta ominaisuus on tuotekohtainen ja ei näin ole yleistettävissä kaikkiin kuuma- ja kylmämassoihin. Merkinnän pysyvyys paranee ja väririkkojen esiintyminen merkinnässä tihkumisen takia vähenee noin kaksi viikkoa asfaltin levittämisen jälkeen.

Uusi AB-asfaltti on suhteellisen pehmeä ja kovenee mitä vanhemmaksi se tulee. Kylmä- ja kuumamassat ovat miltei yhtä kovia ellei koveampia kuin vanha asfaltti ja siksi merkintä murtuu helposti ja saattaa jopa irrota, kun AB-asfaltti joutuu merkinnän kohdalla tai sen välittömässä läheisyydessä rasituksen alaiseksi. Siksi onkin mahdollista, että kuuma- ja kylmämassamerkinnät joutuu uusimaan tai elvyttämään vuoden kuluttua asfaltin tekemisestä.

Kylmämassa, kuumamassaa useammin, saattaa irrota varsinkin nuoresta AB-asfaltista merkintämateriaalissa olevien korkeiden sisäisten jännitteiden takia. Ilmiön tunnistaa siitä, että merkinnän mukana lohkeaa myös asfalttia. Irtoaminen lähtee kylmämassoilla liikkeelle merkinnän reunoilta ja se näkyy reunojen käpristymisenä. Kuumamassassa syntyy paljon hiushalkeamia ja se lohkeilee satunnaisesti. Irtoamisen syy ei välttämättä johdu asfaltista, vaan juuri sille pinnalle sopimattomasta merkintämateriaalista.

Tiemerkintänastat irtoavat uudesta AB-asfaltista vieden mukanaan palan suhteellisen helposti liima-aineesta riippumatta. Irtoaminen johtuu yleisesti siitä, että liima-aineena käytetään 2-komponenttiliimoja ja niiden sisäiset jännitteet ovat AB-asfalttia suuremmat.

Emulsiosorasta

Emulsiosora valmistetaan kylmätekniikalla käyttäen sideaineena tiebitumista valmistettua emulsiota/emulsiosideainetta. Eri emulsiotekniikoista riippuen sideaineen määrä saattaa vaihdella. Emulsiosora vanhenee AB-asfalttia hitaammin, mutta yksi sen hyvistä puolista on, että pinta on AB-asfalttia kuivempi ja siksi merkinnät voidaan tehdä heti veden kuivuttua. Emulsiosorat eivät ilmeisesti tihku samalla lailla kuin AB-asfaltit, vaikka emulsiosora säilyy "nuorempana" pidempään.

Koska emulsiosorat vanhenevat hitaasti, on mahdollista, että ne eivät kaikki kestä mitä tahansa merkintämateriaalia. Kuumamassat tarttuvat emulsiosoriin moitteettomasti. Uusi emulsiosora joutuu lujille paksujen kylmämassalevitteiden ja huonosti käyttäytyvien kuumamassojen alla ja saattaa päästää merkinnän kipristymään reunoiltaan. Tiemerkinntänastat saattavat irrota samalla tavalla kuin AB-asfalteistakin.

Suomessa emulsiosoraa käytetään toistaiseksi vain melko vähäliikenteisillä teillä, mutta Ruotsissa myös vilkasliikenteisillä teillä.

Sirotepintauksesta

Sirotepintauksessa käytetään joko perinteistä tiebitumia tai emulsiota. Tiemerikinnän kannalta menetelmällä ei ole merkitystä. Oleellisempaa on pinnan epätasainen rakenne ja kiviaineksen pysyminen kiinni alustassaan.

Kuumamassan kiinnittyminen voi olla vaikeata, jos materiaali ei pääse kunnolla kosketuksiin mastiksin kanssa. Kylmämassa ja maalit voivat toimia paremmin näissä olosuhteissa. Muutoin tien pinnan muoto suosii spray-massoja, ekstruderilla levitettyä ohutta (n. 1.000 ... 1.500 μ) massalevitettä, maaleja ja maalinomaisesti levitettyjä kylmämassoja.

Tiemerikintänastojen kiinnitymiseen sirotepintauksella lienee tuskin merkitystä.

Öljysora

Öljysora on ongelmallinen kaikkien merikintätapojen kannalta, koska siinä on n. 10 % haihtuvia hiilivetyjä ja haihtuminen kestää useampia vuosia. Tosin ensimmäisenä vuotena haihtuu suurin osa. Toisen ongelman muodostaa öljysoran pitkäaikainen pehmeys ja siitä johtuva jatkuva muodon muutos. Uudessa öljysorassa ei pysy mikään merikinta muutamaa viikkoa kauempaa. Väririkot ovat enemmän sääntö kuin poikkeus.

Sorapinta

Sorapintaukselle ei tehdä merikintöjä. Tilapäisen merikinnän teko on mahdollista maalilla.

Mäntyöljypestä

Mäntyöljypestä käytetään bitumia korvaavana aineena ja vanhaa bitumia pehmentävänä aineena Remix-toteutuksessa. Piki sekoittuu bitumiin hyvin, mutta sen tihkumista ei ole tutkittu. Mäntyöljypestä parantaa asfaltin sisäisiä tarttuvuusominaisuuksia ja veden hylkivyyttä. Myös merikintämateriaalien tarttuvuus pitäisi parantua mäntyöljypestä käytettäessä.

Ongelmista yleensä

Miksi merikinta ei sitten tartu kunnolla ja merikinta värjäytyy silloin, kun mäntyöljypestä on käytetty? Liian sileä tien pinta on ensimmäinen syy. Toinen syy saattaa olla se, että merikinnän levityksessä olosuhteiden hallitsemattomuus kostautuu virheeseen. Sen lisäksi tapahtuu myös työvirheitä. Värjäytyminen saattaa johtua mäntyöljypestien tihkumisesta, mutta tihkumisen määrä saattaa olla sidoksissa käytettyyn merikintämateriaaliin ja siinä oleviin liuottaviin aineisiin. Mäntyöljypestien ja merikintämateriaaleissa käytettyjen hartsien välillä ei pitäisi tapahtua kemiallisia reaktioita. Erityisesti tiemerikintätyö edellyttää huolellisuutta, ohjeiden tarkkaa noudattamista, olosuhteiden sekä laitteiston tuntemista ja näiden kaikkien yhteisvaikutuksen osaamista.

Jos merikintämateriaali ei kunnolla tartu Remix-pintaan, voi se johtua muista seikoista kuin mäntyöljypestä, mutta tästä ongelmakokonaisuudesta ei ole tarkkaa tietoa. Mäntyöljypestien käyttäytymistä eri merikintämateriaalien kanssa ei ole vielä tutkittu. Toisaalta sopivia tutkimusmenetelmiä ei vakio-olosuhteissa käytetä.

Teoriassa, kemialliselta kannalta katsottuna, mäntyöljypien pitäisi edistää kiinnittymistä siinä olevien vapaiden kaksoissidoksien ansiosta. Se, mitä kaksoissidoksiin kiinnittyy ja missä olosuhteissa, on toistaiseksi selvittämättä. Toisaalta mäntyöljypiki on liukas, mutta niin on myös asfalttikin, jos sideaineen suhde kiviainekseen kasvaa liian suureksi. Mäntyöljypien käyttö toistaiseksi on suhteellisen vähäistä verrattuna mahdolliseen menekkiin, sillä pien tuotanto on suoraan riippuvainen selluloosan tuotantomäärästä ja pien tuotantoa ei voi erikseen kasvattaa.

Kun merkinnän valo-ominaisuuksia tarkastellaan merkinnän kestävyyttä osoittavana mittarina, niin suomalainen asfaltti voi hyvinkin olla syynä muista maista poikkeavien merkintöjen valoarvojen käyttäytymiseen. Kun esim. Ruotsissa ja Norjassa sekä osittain Tanskassa voi havaita paluuheijastuvuusarvojen aaltoilua, niin Suomessa ei näin ole. Meillä asfaltissa käytetään kalkkikiveä erittäin paljon. Kalkkikivi on voimakkaasti emäksistä. Tästä voi suoraan tehdä sen johtopäätöksen, että asfaltti ja siitä irtoava pöly on varmaan koko ajan emäksistä. Edelleen voi olettaa, että tiellä oleva sadevesi on emäksistä. Emäksinen vesi syövyttää lasia tehden siitä samean. Tosin on myös mahdollista, että jos merkintämateriaaleissa on käytetty kalkkikiveä, aiheuttaa se myös lasihelmen syöpymistä. Tämä lasissa emäskadoksi nimetty ilmiö tapahtuu suhteellisen nopeasti ja se saattaa osittain selittyä paluuheijastuvuusarvojen nopeana ja tasaisena alenemisena.

Asfaltti on sekä hapan, että emäksinen, mutta vakiotesteissä ei selvitetä muuta kuin bitumin happoluku.

Betoni

Betoniteissä käytettävä sementti on portlandsementtiä. Portland saatetaan osittain korvata paikallisten olosuhteiden mukaan kuonatuhkalla. Jos muita sementtejä esiintyy, ovat ne kokeiluja tai laboratoriotuotteita. Muiden sementtien osuus ei tiesementtinä nykytietojen mukaan tule kasvamaan ja niiden osuus jää näinollen jotakuinkin merkityksettömäksi.

Tiessä käytetty sementti on laadullisesti hyvää. Betoni kestää hyvin korroosiota ja pitää hyvin vettä. Riippuen betonin iästä, sadevesi ei tunkeudu pintaa syvemmälle. Uuden betonitien pinta muodostuu kahdesta kerroksesta: sementtiliima- ja varsinaisesta kulutuskerroksesta. Sementtiliimakerros, joka on noin 1,5 ... 2,0 mm paksu, on huokoinen. Tämä tarkoittaa sitä, että ensimmäisenä vuotena kosteus pääsee sementtiliimakerrokseen, mutta kun kerros on kulunut pois, kosteus jää vain pintaan. Kerros, nimittäin kostuu ei vain pystytasossa, vaan myös vaakatasossa. Siksi haihtuva kosteus saattaa irroittaa merkinnän silloin, kun se on laskettu sementtiliimakerroksen päälle. Ulkoilmassa olevan betonin vapaan veden osuus on 3 ... 5 painoprosenttia ja se pysyy koko ajan betonissa eikä vaihdu tai haihdu.

Tiementekntöjen kannalta betonipintaa on tarkasteltava pinnan muodon lisäksi sen kemialliselta ja fysikaaliselta kannalta sekä miten eri merkintämateriaalit kiinnittyvät.

Uusi betonitie olisi erittäin sileä, ellei sitä harjattaisi kitkan kasvattamiseksi. Harjattujen urien korkeus vaihtelee 1 ... 2 mm. Kun sementtiliimakerros ensimmäisen vuoden aikana kuluu pois, alta paljastuu varsinainen kulutuspinna. Sen

pinnan korkeus vaihtelee myös 1 ... 2 mm, mutta vaihtelu on aaltoilevaa verrattuna harjattuun pintaan.

Betonin pinta on sileä ja kiinteä, johon mikä tahansa merkinäsmateriaali tarttuu huonosti. Erityisesti tämä koskee kuumamassoja, sillä niiden kiinnittyminen perustuu massan ja asfaltin sulamiseen yhteen. Kylmämassoilla on kyky muodostaa molekyyllisidos kiviaineksessa olevan piin kanssa ja suomalainen kiviaines sisältää paljon piitä.

Uutena betoni on voimakkaasti emäksistä, mutta se happamoituu iän myötä ja tulee lopulta neutraaliksi. Betonin pinta reagoi ilman hiilidioksidin kanssa ja tätä prosessia kutsutaan karbonaatioksi. Karbonaatio ei merkitse sitä, että betonin pintaan muodostuu irtoainesta vaan sitä, että pinnan kemiallinen koostumus muuttuu. Karbonaatio lujittaa sementtiä.

Koska uusi betoni on voimakkaasti alkalista, on sillä ilmeisesti helmiä nopeasti syövyttävä vaikutus. Helmet menettävät valo-ominaisuutensa ensimmäisen vuoden aikana. Koska tien päällä olevan sadeveden pH-arvoja ei ole selvitetty, sen vaikutus betonitiellä olevien helmien syöpymiseen on toistaiseksi tuntematon. Otaksuttavaa on, että syövyttävä vaikutus alennee betonin ikääntyessä ja muuttuessa neutraaliksi. Tuulista riippuen sadeveden happamuus vaihtelee suuresti.

Uuden betonitien pintaan voidaan laittaa parafiinipohjainen jälkihoitoaine - vahaemulsio. Vahan tarkoituksena on saada sementtiliima kovemmaksi kuin mitä se ilman vahaemulsiota tulee. Ongelmana on se, että vaha estää kaikkien tiementekintöjen kiinnittymisen. Merkinnän epäonnistumisen havaitsee välittömästi. Vahan on joko kuluttava pois tai sitten se on poistettava, jotta merkinnät saataisiin kiinnittymään. Myös sementtiliima harjaamattomana rajoittaa merkinäsmöntöjen tarttumista.

Jotkin merkinäsmateriaalit, kuten alkydipohjaiset maalit, reagoivat rajusti nuoren, voimakkaasti alkalisen betonin kanssa. Pahimmillaan alkydimaalin voi huuhdella pois vedellä.

Betonipinnat ovat ongelmallisia merkinäsmöntöjen kannalta. Siksi onkin hyväksyttävä se toisiseikka, että betonipäälysteille ei saada yhtä kestäviä merkinäsmöntöjä kuin asfalttipäälysteille.

Pinnan kunto

Vanhojen tienpintojen ominaisuutena on se, että kiviaines on hyvin esillä. Tästä seuraa se, että kivet hioutuvat. Asfaltti tiivistyy sekä kovenee. Myös betoni kovenee ajan myötä. Sileys on ongelma niin uusilla kuin myös vanhoilla tiiviillä pinnoilla. Merkinäsmateriaalien kiinnittyvyys on heikompi sileillä kuin karheilla pinnoilla. Siksi vanhan sileän tienpinnan karhennus on paikallaan. Uuden AB-asfalttipinnan tulee vanheta noin 2 viikkoa ennen merkinnän tekoa.

Riippumatta pinnan iästä, tulee sen olla puhdas. Käytännössä ihannetilan saavuttaminen tuskin on mahdollista. Käytöstä johtuen tienpinnan kunto vaihtelee päivittäin koko ajan. Tieosuuden kesä- ja talvikunnossapito muuttaa ja epäyhtenäistää tien pinnan kuntoa. Merkinäsmöntöä suunniteltaessa pinnan kunto on otettava huomioon merkinäsmateriaalia ja -tapaa valittaessa.

Ilmasto, sää, laskeumat, siitepöly ja liikenne muuttavat tien pinnan olosuhteita. Öljyt, rasvat, jäähdytysnesteet, kumi ja kura lisäävät tienpinnassa olevaa epäpuhtautta. Sade kyllä joissakin tapauksissa huuhtelee, mutta samalla se tuo mukanaan uutta likaa. Riippumatta sateen määrästä, tiellä on aina kuraa. Jatkuvasti koostumustaan muuttava likakalvo (roadfilm, vägfilm), joka koostuu öljystä, noesta, kumista, suolasta, rikistä, hienosta maa-aineksesta, ym, peittää aina tien pinnan. Likakalvon määrä on pienempi ajouran kohdalla kuin tien keskellä ja sivuissa. Likakalvo ei ainostaan peitä tienpintaa, vaan myös tiemerkinntät heikentäen niiden valo-ominaisuuksia niin päivällä kuin pimeälläkin. Likakalvolle altistuvat myös ajovalot ja tuulilasi.

Likakalvo on mustaa ja siksi sen havaitseminen tienpinnassa ei välttämättä ole mahdollista. Helpoin tapa selvittää vesiliukoisen lian olemassaolo on kostuttaa sormi ja hieroa sitä tienpintaan. Mikroskoopissa tarkasteltuna merkittävät pinnat ovat täynnä painanteita, koloja, nystyröitä ja rakoja. Ihannetapauksessa näiden pitäisi olla puhtaita, jotta merkinntämateriaali voisi kiinnittyä mekaanisesti sekä joissakin tapauksissa myös kemiallisesti. Käytännössä juuri nämä pienimmät pinnan osat ovat likakalvon peitossa. Vesiohenteisten maalien viskositeetti on alhainen, mutta niillä ei ole likakalvoa liuottavaa ominaisuutta ja siksi vesiohenteiset maalit ovat herkkiä likaiselle tien pinnalle. Liuotinmaalien viskositeetti liuottimesta johtuen on suhteellisen alhainen. Maali kastelee ja liuottaa likakalvon ja siksi liuotinmaalit tarttuvat hyvin alustaansa. Kasteleva ja liuottava ominaisuus on myös kylmämassoilla, mutta ehdottomasti ei kuumamassoilla. Siksi kuumamassojen tarttuvuus on ongelmallisempaa kuin muilla materiaaleilla. Kuumamassan kiinnittyvyys on riippuvainen ensisijaisesti levityslämpötilasta, jonka on oltava yli 180 °C, mieluiten 210 °C. Tässä lämpötilassa likakalvo ilmeisesti sulaa tai sitten sekoittuu kuumaan massaan ja mastiksiin aiheuttamatta kiinnitysongelmia. Spray-massan levitys paljastaa heti likaisen tien kohdan. Ruiskutettava kuumamassa sinkoaa pois likaisesta kohdasta ja jättää merkinntään aukon.

Useimmat merkinntämateriaalit eivät ole vesiliukoisia, paitsi tietysti vesiohenteiset maalit ja jotkut tietyt epoksitoteutukset. Siksi materiaalit ei tartu kostealle pinnalle. Jos pinta on osittain kostea, tarttuvuus on myös osittaista. Kuumamassan levityksessä yksi kriittisiä asioita on juuri tien pinnan puhtaus ja kosteus. Jos kuumamassan alle jää kosteutta, aiheuttaa se halkeilua mastiksin ja merkinntän välissä, maalit saattavat harsoilla reunoiltaan ja hilseillä keskeltä, kylmämassat hilseilevät tai irtoavat suurempina palasina ja spray-massa sinkoaa pois jo levitysvaiheessa.

Kaikilla tienpinnoilla on ominainen pinnan väri kuivana ja kosteana. Se, että pinta näyttää kuivalta, ei välttämättä tarkoita sitä, että se todella on kuiva. Tienpinnan kosteuden mittaaminen ei välttämättä ole helppo asia, mutta kosteuden olemassaolon voi selvittää helpostikin. Merkattavalle pinnalle levitetään 1m * 2 m kokoinen tervapaperi. Tämän jälkeen merkinntämassaa levitetään paperin päälle. Siitä 15 ... 30 sekunnin kuluttua tervapaperin alapinta tarkastetaan. Jos alapintaan on tiivistynyt paljon kosteutta, ei merkinntää suoriteta.

Toinen tapa selvittää kosteuden olemassaolo, on teipata tienpintaan noin 1m²:n kokoinen läpinäkyvä muovin palanen. 20 ... 30 minuutin kuluttua tarkastetaan

pintaan tiivistyneen veden määrä. Tässäkin tapauksessa, jos alapintaan on tiivistynyt paljon kosteutta, ei merkintää saa suorittaa.

Tienpinnan lämpötilalla on suuri merkitys merkinnän onnistumisen kannalta. Usein ilmanlämpötilasta johdetaan suoraan tien lämpötila, joka on väärin. Monesti valmistajat suosittelevat merkintämateriaaleille vähimmäisilmanlämpötilat, kun pitäisi määrätä tien lämpötila. Tien ja ilman lämpötilojen ero voi suurimmillaan olla noin 30 °C:n luokkaa. Merkintämateriaalin lämpötila ei periaatteessa muutu sinä aikana siitä, kun se koneesta lähtiessään joutuu tienpintaan. Yleensä varsinaisen merkintäkauden aikana tienpinnan lämpötila on ilman lämpötilaa korkeampi, joten kosteuden tiivistymisongelmia esiintyy harvemmin. Loppukaudesta tilanne on toinen. Koska tien massa on merkintämateriaalin massaa suurempi, tasoittuvat massojen väliset lämpötilaerot hyvin nopeasti. Tästä on seurauksena se, että kaikki kemialliset reaktiot tapahtuvat siinä lämpötilassa, joka tiellä on. Siksi olisi valmistajien ilmoittamat ilmanlämpötilojen vähimmäisarvot tulkittava tienpinnan vähimmäislämpötiloiksi.

Merkinnän teon seuraaminen on ongelmallista, sillä havainnoiminen perustuu näkemiseen, joka on tuloksen kannalta epäoleellista. Merkinnän teon seuraaminen ei paljasta mahdollisia ongelmia, sillä oleellinen jää näkemättä. Se on merkinnän ja tienpinnan liitos. Hyvin usein pinnan kunto tulee ilmi vasta sitten, kun merkintä havaitaan epäonnistuneeksi. Paksu likakalvo on voinut tarttua merkinnän alapintaan, kiinnittymistä ei laisinkaan ole tapahtunut tai materiaali on täynnä halkeamia.

Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että huono materiaali hyvin levitettynä kestää ja toimii paremmin kuin hyvä materiaali huonosti levitettynä.

Saasteet ja työturvallisuus

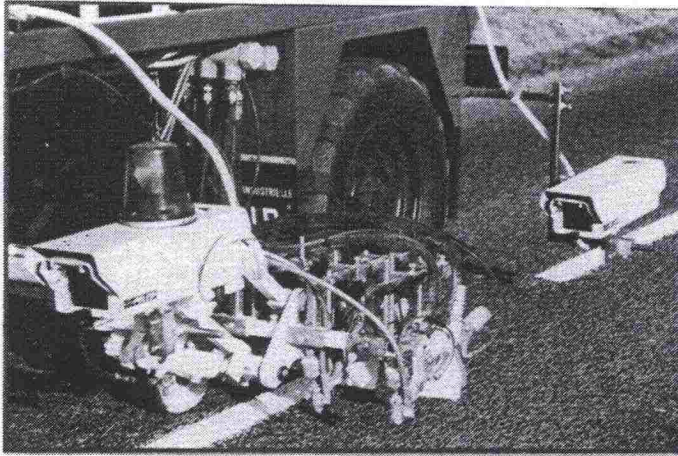
Tiemerkintätoissa turvallinen työnteko tulee nähdä kaluston, työhygienian, materiaalien ja liikenteen kannalta.

Kalusto

EY:n jäsenvaltioissa astui voimaan 01.01.1993 konedirektiivi 89/392/EEC ja 91/368/EEC. Se asettaa oleelliset terveys- ja turvallisussvaatimukset, jotka koneen tulee täyttää ollakseen turvallinen. Direktiivi on tuotedirektiivi ja määrää valmistajan ja koneen kaupalle tarjoajan velvollisuudet konetta markkinoitaessa. Direktiivi on myös voimassa ETA-sopimuksen puitteissa. Koneet tulee varustaa CE-merkillä. Konedirektiivi ei toistaiseksi koske tiemerkintäkoneita.

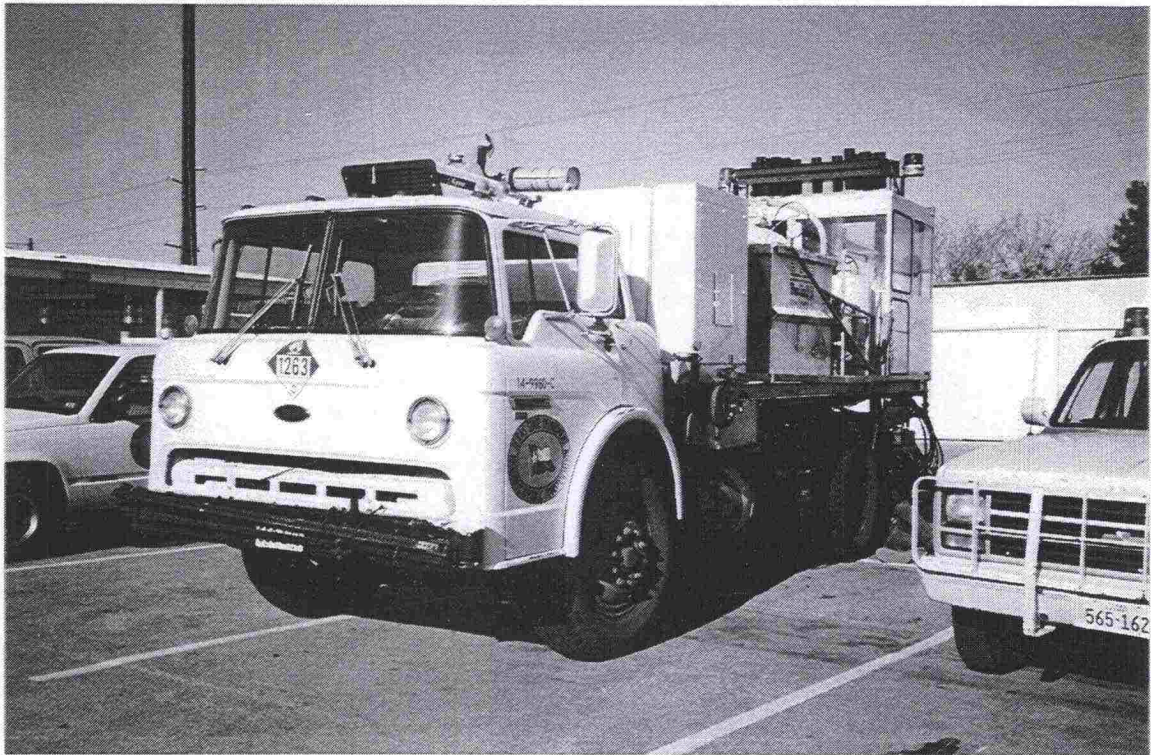
Pohjoismaissa yleisenä piirteenä uusien koneiden hankintaa suunniteltaessa on ollut ympäristön ja hyvän työhygienian huomioon ottaminen. Koneiden moottorien tulee kuluttaa vähemmän polttoainetta ja päästöjen määrän tulee olla huomattavasti alhaisemmalla tasolla aikaisempiin malleihin nähden. Myös niiden aiheuttamaan meluun on kiinnitetty paljon huomiota ja melutasoa on pyritty laskemaan. Koneiden moottorien kulutus, saastepäästöt ja melu on laskenut niissä koneissa, joiden ratkaisu perustuu kuorma-autoon. Suurimman meluhaitan aiheuttaa paineruiskut ja kompressorit, joiden yhteismelun vähentäminen on miltei mahdoton tehtävä. Työhygienia on hyvä uusissa kuorma-autoissa. Merkintätyön hallinta tapahtuu suurimmalta osalta kauko-ohjatusti hytistä käsin ja valvontaan käytetään

sisäistä TV-järjestelmää. Valitettavasti erikoisrakenteisissa merkintäkoneissa työhygienian taso on surkea. Rajoittavia tekijöitä työhygienian kehittymiselle on useita: asiakaskunnan halu pitää koneen hinta alhaisena, koneen on pysyttävä mahdollisimman yksinkertaisena ja sen on oltava etenkin kapea ja muuten pieni.



Ranskalaisen maalaus-koneen teli. Etummainen kamera auttaa suunnassapysymistä ja takimmaisella valvotaan tuotantoa.

Melusaasteesta



Amerikkalaisten maalausautojen työhygieniä ei ole paras mahdollinen.

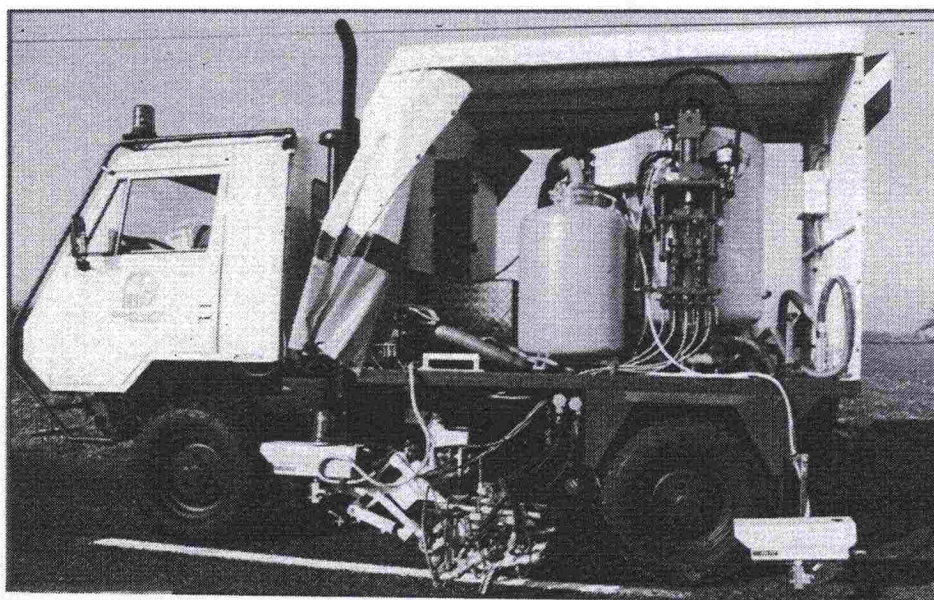
Puuttumatta tarkemmin kaluston yksityiskohtiin, voidaan sanoa, että melun torjunta on jäänyt lapsipuolen asemaan useimmissa tapauksissa. Jatkuva 80 desibelin raja ylittyy hyvin helposti. Moottorit ovat usein suojaamattomia ja paineruiskujen melun vaimennus on käytännössä mahdotonta oli sitten kyseessä paineilma- tai ilmaton järjestelmä. Jos merkintäkone pohjautuu auton runkoratkaisuun, ovat kuljettajan hytissä olevat henkilöt suojassa, mutta lavalla

olijat ovat jatkuvasti alttiina melulle. Joissakin kuorma-autoratkaisuissa maalauksen ohjausyksikkö on lavan takaosassa olevassa hytissä. Nämä hytit ovat käytännössä äänipohjia, koska seinät on joko pellistä tai alumiinista, lattia metalliritilästä ja ruiskut sijaitsevat juuri lattian alla.

Pohjoismaisissa kuorma-autopohjaisissa ratkaisuissa on pyritty kiinnittämään huomiota melun vaimentamiseen kattamalla koko lavalla oleva laitteisto.



Pyrkimyksenä on saada koko levitysprosessin valvonta ja ohjaus auton ohjaamoon. Näin ehkäistään ennakolta mm. palovammat, savukaasujen sivuvaikutukset ja meluhaitat. Alla ranskalainen maalaukone.



Erikoisrakenteiset merkintäkoneet ovat avoimia ja melu näissä on sietämätöntä. Joihinkin malleihin on mahdollista rakentaa kori, mutta yleensä esteeksi tulee koneen rungon kantavuus ja vetomootorin kapasiteetti. Hyvin vaimentava hytti on painava ja tiivis. Hytin ilmanvaihto on taattava ja tämä kasvattaa osaltaan rakenteen painoa.

Jyrsinkoneet ovat avonaisia ja niiden melutaso on korkea joskin jyrsimen sijainti koneen alla vaimentaa melun jakautumista tasaista jakautumista. Melulle altistumista ei voi välttää.

Melusaaste työntekijöille on hyvin selvä terveysriski. Sivullisten altistuminen on vähäistä pienen annoksen takia. Kaupungissa yöllä tehtävä työ häiritsee, mutta silloinkin meluannos on pieni.

Päästöistä

Käytännössä kaikki merkinntäkoneet käyttävät dieseliä polttoaineena. Kuumamassapatojen lämmitys tapahtuu polttoöljyllä useimmiten. Dieselkoneiden saastuttava vaikutus tunnetaan, joten siihen ei tässä kannata puuttua. Kuumamassapadoissa käytettävät polttimet ovat nykyään tehokkaita, joten ne eivät saastuta sen enempää kuin omakotitalojen öljypolttimetkaan. Ympäristöriskin aiheuttaa sen sijaan kevyen polttoöljyn mahdollinen valuminen luontoon. Tässä rypsiöljyn käyttöä kannattaa harkita.

Toinen ongelma on kaluston pesussa käytettävät liuottimet, jos niitä käsitellään vapaasti. Kaluston pitäisi olla rakennettu niin, että liuotinpesu ja talteenotto tapahtuu sisäisellä kiertolla. Pesussa ei nimittäin vapaudu vain hiilivetyjä, vaan muut materiaalissa olevat myrkylliset aineosat ovat myös vapaina pesuliuoksessa.

Merkintäkaluston saastuttavuus tien varsien kokonaiskuormituksessa, riskinsä ja mahdollisen onnettomuuden osalta on vaikutuksiltaan ja todennäköisyydeltään hyvin pieni.

Muista riskeistä

Se, että koneet pääsääntöisesti huolletaan kokonaan merkinntäkausittain takaa sen, että ne ovat turvallisia liikenteessä ja peruskunto säilyy riittävän hyvänä. Laiterikkoja tapahtuu pelkästään luonnollisen kulumisen seurauksena, mutta ne tuskin ovat riski kenellekään. Korkeapainejärjestelmän letkujen irtoaminen, puhkeaminen tai katkeaminen on erittäin vaarallista, sillä jo pelkkä paineilma puhkaisee ihon kuin luoti tai katkaisee käden, puhumattakaan siitä, jos putkesta tulee kuumaa massaa. Maalaus koneen maaliletkun rikkoontuminen ja merkittävän maalierän valuminen ajoradalle voi aiheuttaa liukastumisonnettomuuden muille tien käyttäjille.

Koneiden valmistajat ovat pyrkineet suojaamaan konetilan niin, ettei välitöntä vaaraa työntekijöille liikkuvista osista ole. Maalaustelit ovat suojaamattomia eikä niissä ole liikuttelemista ilmaisevaa hälytysjärjestelmää.

Paineistetun astian avaaminen on vaarallista. Jo pieni painejäämä helmitankissa saattaa pölläyttää helmiä silmille ja se on tuskallista. Jos helmet on esikäsitelty, niin kirvely on todella pahaa.

Yleisesti voidaan sanoa, että suurimman riskin aiheuttavat korkeapainejärjestelmät. Näiden onnettomuuksien määrä lienee pieni koko maailmassa.

Eniten tapahtunee palovammoja kuumamassojen käsilevityksessä ja patoja täytettäessä. Onnettomuuksilta voidaan välttyä asianmukaisen kaluston hankkimisella ja ylläpitämisellä sekä ammatti- että työturvallisuuskoulutuksella. Kaikissa maissa, missä työturvallisuuskoulutusta on annettu merkinntätöitä suorittavalle henkilökunnalle, työ- ja työmaanonnettomuuksien määrä on laskenut pysyvästi noin kymmenenteen osaan aikaisemmasta tasosta.

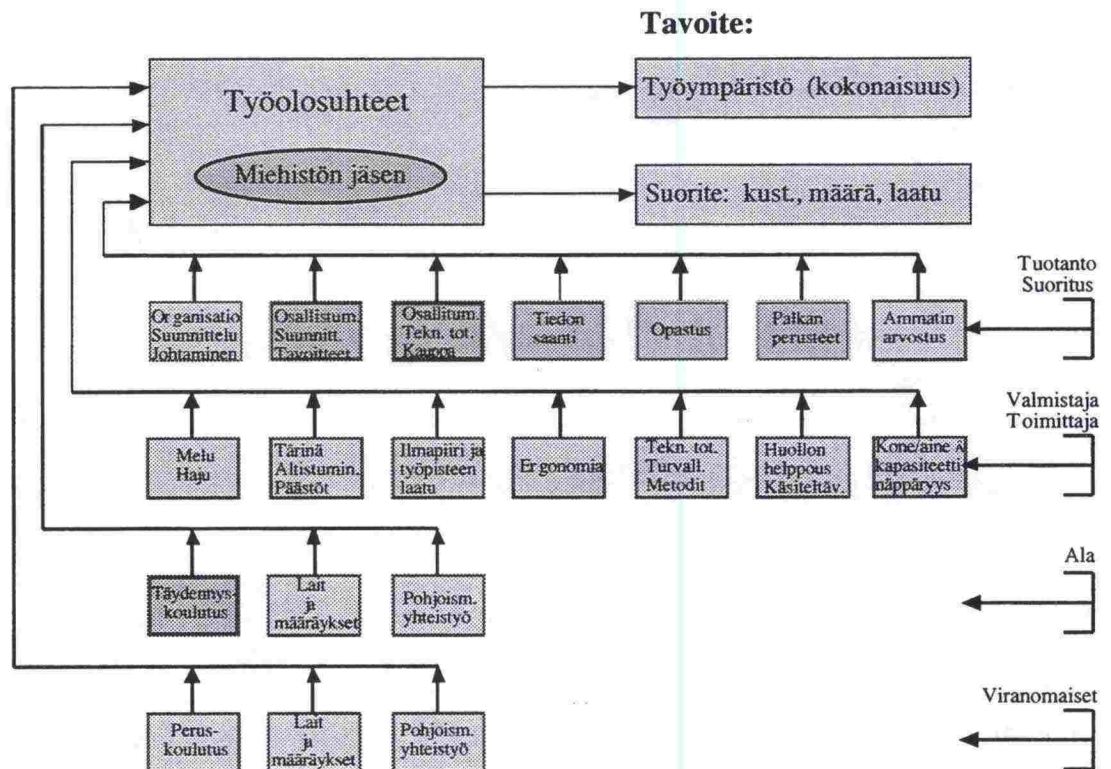
Työhygieniasta

Työhygienialla tarkoitetaan ergonomiaa, työmenetelmiä, työympäristön viihtyvyyttä ja toimivuutta, työvälineiden ja materiaalien toimivuutta sekä turvallisuutta. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että mitä korkeapaa teknologiaa järjestelmään sisältyy sitä suuremmat vaatimukset työhygienialle tulee asettaa. Virheistä aiheutuneiden vaaratilanteiden ja haittojen määrä kasvaa mitä suurempikapasiteettisista järjestelmistä ja monimutkaisemmista sovelluksista on kysymys. Työntekijöiden tulee olla motivoituneita suorittamaan tehtävänsä niin, että työnteko on turvallista ja työn jälki hyvää. Heidän koulutustasonsa tulee olla hyvä ja koulutuksen jatkuvaa. Hyvällä työympäristöllä on palkkausta merkittävämpi vaikutus työn onnistumiseen ja riskien vähenemiseen.

Koneiden käyttäjien kokemusta on osattava käyttää hyväksi ja merkintäkoneiden osalta tämä tavoite on hyvin pitkälle saavutettu. Vaikka koneet voivatkin olla ns. tehdastekoisia, ovat kukin niistä yksilöitä. Koneiden käyttäjistä ainakin yksi konetta kohti on usein osallistunut suunnitteluun ostovaiheessa. Tästä huolimatta opastus kaikkien työtä suorittavien kohdalla on edellytys.

Työmotivaatiota parantavana tekijänä voidaan nähdä myös tavoiteasetanta, työn suunnittelu ja jälkiseuranta. Vaikka tässä saattaakin piillä ristiriita, voidaan näillä seikoilla parantaa turvallisuutta, tehokkuutta ja työn laatua. Vaikka miehistön rooli vaihtelee yksityisen henkilön, ammattinsa osaavan ja työnantajan edustajan välillä pidetään tärkeänä sitä, että he ovat ammatillisesti taitavia ja sitoutuneita suunnitteluun. Tämä vähentää ristiriitojen syntyä.

Laatuvaatimusten, työn tehokkuuden ja taloudellisen ajattelun kustannuksella ei saa vähentää työn turvallisuutta eikä unohtaa lakia ja asetuksia.



Pohjoismaissa, etenkin Ruotsissa, Norjassa ja Tanskassa, työympäristön merkitystä painotetaan aikaisempaa enemmän. Vaikka työympäristöllä saatetaan tarkoittaa työmaata kokonaisuutena, koneiden merkityksen osuus on kuitenkin korostunut. Koneita pyritään kehittämään ja käyttämään niin, että paras mahdollinen työympäristö toteutuu. Kuljettajan ja koneen mukana olevien hallintalaitteiden käyttäjien työtilojen ja hallintalaitteiden ergonomiseen muotoiluun kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Paikanmääritysjärjestelmien yleistyessä mittauksilta ja tuloksilta edellytetään erittäin suurta tarkkuutta. Siksi tietokonepohjaisten ratkaisujen toimivuudelle ja tiedon palveluasteelle asetetaan kovat vaatimukset. Mitä enemmän korkean teknologian tuotteita sitoutuu tuotantovaiheisiin, sitä helpommiksi koneiden hallintalaitteiden käsiteltävyys on tultava.

Materiaaleista

Työmenetelmät ovat hyvin paljon sidoksissa materiaaleihin. Jaksossa "*Materiaalit*" on materiaalikohtaisesti pyritty käsittelemään työturvallisuutta. Seuraavassa tarkastellaan materiaaleja yleisemmin.

Terveyshaitoista

Liuottimet ovat haihtuvia hiilivetyjä ja niistä tulee päästä eroon luonnon suojelullisista syistä. Liuottimet ovat myös suuri terveysriski. Vaihtoehtoja haihtuville hiilivetyliuottimille on vesiohenteiset maalit tai täysin liuotteettomat sovellukset. Vesiohenteisuudesta ei ole tarvinnut maksaa muiden riskien kasvamisella. Periaatteessa voidaan sanoa, että vesiohenteisuus on parantanut terveysolosuhteita ja työsuojelua, mutta silti vesiohenteisissa maaleissa saattaa olla ärsytystä aiheuttavia aineita, kuten ammoniakia pH:n säätöaineena, alkoholeja tai glykoolieetteri -tyyppisiä aineita apuliuottimina tai caton-säilöntäaineita.

Väriaineet ovat ennen olleet merkittäviä terveysriskejä. Vielä 60-luvulla maaleissa käytettiin lyijyvalkoista, mutta se on korvattu vaarattomilla titaanioksidoilla. Keltaisena väriaineena on käytetty lyijykromaattia, mutta maittain sen käytöstä on Euroopassa luovuttu 90-luvun alkupuolella. Amerikassa lyijykromaattia käytetään hyvin yleisesti. Siellä sen käyttöä perusteellaan kustanussyillä. Oikean värisävyn saavuttamiseksi lyijykromaattia joutuu käyttämään paljon. Materiaali voidaan värjätä keltaiseksi myös orgaanisilla tai epäorgaanisilla väriaineilla ja näitä kuluu vain murto-osa lyijykromaattiin verrattuna, joskin hinta on lyijykromaattia paljon korkeampi.

Liuotteettomia sovelluksia on tarkasteltava tapauskohtaisesti. Niissä huomion on kiinnityttävä kahteen asiaan: sideainemassaan ja kiihdyttimiin/kovettimiin. Vaikka osa tiemerikintäteollisuuden tuotantoketjusta tapahtuukin ulko-olosuhteissa, ei tämä vähennä työntekijöiden altistumista terveysriskeille. Kylmä- ja kuumamassasovellukset on täysin verrattavissa muuhun muoviteollisuustuotantoon.

Tyydyttymättömät epoksihartsit ovat erittäin vaarallisia. Niitä vastaan on erikoissuojausmenetelmät ja terveystarkastuksissa on käytävä säännöllisesti. Onneksi Euroopassa epokseja tuskin tiemerikintämateriaaleina esiintyy.

Monomeereja sisältävien kylmämassojen kanssa työskennellessä on työmenetelmät suunniteltava ja toteutettava niin, että ihokosketusta ei missään vaiheessa pääse

tapahtumaan ja materiaalin kovettuminen on täydellistä. Monomeerit, joista esimerkkinä kaikki akrylaatit - kuten MMA - ovat haitallisia, jos niitä ei käsitellä oikein. Akryylit edellyttävät hyvää suojautumista.

Polyesteripohjaisissa kylmämassoissa on yleensä styreenejä, jotka ovat vaarallisia liuottimia. Styreenit ovat herkkiä haihtumaan ja ne haisevat jo pieninä erinä ja sen takia yleensä hajuhaitta muodostuu vastenmieliseksi ja työ keskeytyy ennen kuin vaarallinen annostaso ylittyy.

Kylmämassojen kiihdyttiminä hyvin useissa tapauksissa käytetään peroksiideja, jotka ovat kovan luokan myrkkyjä. Yleensä kiinteässä muodossa olevat peroksiidit on sidottu liuottamalla ne metyyletyylketooniin tai pehmentimiin. Liuokset ovat laimeita; muutamia prosentteja. Kolmas peroksiidien esiintymismuoto on uudelleen kiinteyttäminen sirotehelmiin. Jos peroksiidien käsittely ja sekoittaminen massaan on hoidettu suljettuna järjestelmänä, haittavaikutukset työntekijöille ovat rajoitetut, mutta mitä avoimempaan käsittelyyn mennään, sitä suuremmaksi riskit tulevat. Avoimuudesta voidaan antaa seuraavat esimerkit: kiihdytinliuoksen kaataminen kanisterista tai esikäsiteltyjen helmien tyhjentäminen säkistä tankkiin.

Kuumamassoista vapautuu aina savua, joka on sitä harmaampaa tai sakean valkoista mitä heikompileatuista massa on. Iholle muodostuu liukas kalvo jo muutaman tunnin yhtäjaksoisen työskentelyn jälkeen hyvälaatuisenkin massan kanssa. Tämä osoittaa, että massasta haihtuu öljyjä, jotka tiivistyvät iholle.

Kemikaalilainsäädännöstä

Materiaalien terveysvaikutustutkimuksen alalla on tapahtunut ja tapahtuu jatkuvasti paljon. Terveydelle vaarallisten aineiden lista kasvaa ja moni niistä aineista esiintyy maaleissa ja kylmämassoissa. On mahdollista, että jos niitä ei kuumamassoissa vielä ole, saattaa jotkin nyt käytössä olevista aineista tulla myöhemmin listalle. Syytä tähän epävarmuuteen on hyvä valottaa nykyisten säännösten ja valmistuksen taustaa vastaan.

Tiemerkintämateriaaleja, niiden pakkauksia ja työturvallisuutta säätelevät ennen ETA-alueen laajentumista maakohtaiset lait, asetukset ja päätökset. Suomessa on voimassa kemikaalilaki, joka korvataan uudella EY-lainsäädännön mukaisella kemikaalilailla. Uusi laki tuli voimaan 01.01.1994. Samassa yhteydessä poistui mm. maalimerkintäpäätös. Uuden lain mukaan tulivat voimaan myös alasäädökset, joita ovat päätös käyttöturvallisuustiedotteesta ja siinä olevien tietojen toimittamisesta.

Maalituotteiden teknisille ominaisuuksille on valmisteilla EN-standardit, jotka kattavat mm. käyttöturvallisuuden. Käyttöturvallisuus tarkentuu myöhemmin erikseen omassa EN-käyttöturvallisuusstandardissa.

Kovin suuria poikkeamia voimassa olevaan Suomen omaan kemikaalilakiin ja asetuksiin ei tullut, koska aikaisempi kemikaalilaki oli hyvin lähellä uuden lain henkeä. Uudessa aineluettelossa on luokitusrajoja aikaisempaa enemmän. Sitävastoin muissa Pohjoismaissa oleviin lakeihin, asetuksiin ja määräyksiin ETA:n mukainen kemikaalilainsäädäntö merkitsi hyvin merkittäviä heikennyksiä. Olennaista on nyt se, että maaleja ja massoja kohdellaan samalla tavalla.

Uusi kemikaalilaki, asetukset ja päätökset edellyttävät käyttöturvallisuus- ja tuotetiedotteiden jokaiseen tuotepakkaukseen. Käyttöturvallisuustiedotteessa on ilmentävä mitä pakkaus sisältää, kuinka paljon tuotteessa on terveydelle haitallisia aineita ja miten niitä vastaan tulee suojautua. Käyttöturvallisuusilmoitus tulee antaa myös kuumamassoista. Tiedotteen on oltava kenen tahansa saatavilla ja se on tarkoitettu nimenomaa käyttäjälle.

Käyttöturvallisuustiedotteen ei tarvitse olla lomake, vaan ilmoitus, jossa on annettua indeksointia noudattava pääotsikointi. Kansallisena lainsäädäntönä on erikseen määräys kemikaalitietojen toimittamisesta työministeriön työsuojeluosastolle. Määräys perustuu käyttöturvallisuustiedotteeseen.

Käyttöturvallisuustiedotetta on käsitelty enemmän liitteessä 3 esimerkkeineen.

Tiemerkintämateriaaleja valmistavien yritysten osaamisen taso, henkilö- ja taloudelliset resurssit vaihtelevat suuresti. Kansainvälisten listojen seuraaminen sitoo työtä, koska seurannan tulee olla jatkuvaa. Tiedot on saatavilla suhteellisen pienin kustannuksin useista tietopankeista, kuten LEO, ASA, NIOSTIC ja CHEMINFO. Tiedon keruu ei edellytä omaa osaamista, vaan haun voi suorittaa ostopalveluna vaikkapa Työterveyslaitoksen aluetoimistoilla ja niiden laboratorioilla. Valmistajalle seuraava ongelmakohta on tiedon välittäminen tuotekehitykseen.

Toisekseen tiemerkintämateriaaleja ei ole erikseen mainittu omana ryhmänä valvottavien materiaalien joukossa, vaan se rinnastettaneen maaleihin. Luokitus aiheuttaa ongelman. Tiemerkintämaalien rinnastaminen teollisuusmaaleihin kuulostaa jotakuinkin mahdolliselta, mutta miten on luokiteltavissa kylmämassat, joista jotkin tuotteet voidaan tekniikasta riippuen levittää joko maalaamalla tai massalevityslaitteistolla.

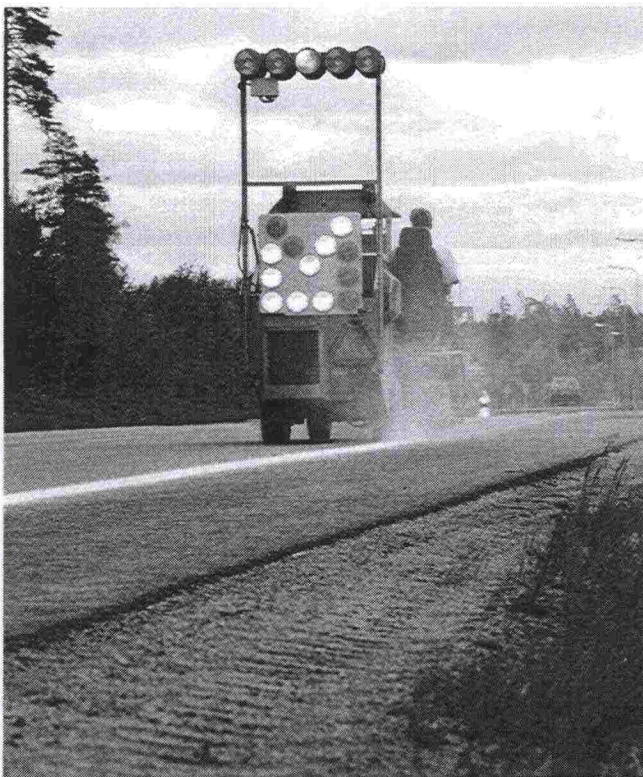
Viranomaisten - tai kenen muun ulkopuolisen - puolelta valvonnan järjestäminen on miltei mahdotonta, koska valmistajat pitävät reseptinsä salassa. Ainoa mahdollisuus on uskoa valmistajan sanaan. Valmistajan uskottavuutta voi parantaa huomattavasti laatuja järjestelmien käyttöönotto.

Suomessa työministeriön työsuojeluosasto kerää ja arkistoi tietoja terveydelle vaarallisista aineista. Nämä tiedot ovat kenen tahansa saatavilla.

Liikenteestä

Merkintätyön tekeminen liikenteen parissa on vaarallista ja suojaaminen vaikeata, koska työ yleensä etenee vauhdilla. Merkintätyöhön osallistuvien koneiden ja miehistön tulee erottua selvästi muusta liikenteestä. Koneiden tulee olla varustettu suuntaan näytävillä halogenivilkuilla ja liikennettä ohjaavilla tauluilla sekä muuntuvilla tai muutettavilla nuolilla. Miehistön asun tulee olla värikäs ja varustettu heijastimilla.

Esimerkintätyötä tehtäessä tarvitaan ehdottomasti kaksi varoitusautoa, koska merkintäauto joutuu ajoittain pysähtelemään.

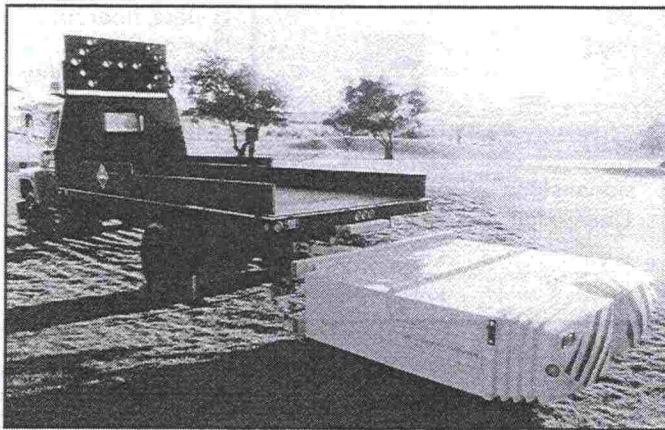


Kuvien autojen keltaisissa vilkuissa on halogeenilamput. On todettu, että tämä on paras ratkaisu sekä liikenteen, että varoitusaution ajajan kannalta. Halogeenilamppu on sopivan hidas syttymään ja sammumaan. Ajajan kannalta pyörivä peili aiheuttaa sateella kirkkaan valoseinän ja

kaasupurkausmajakka valaisee sokaisevasti koko ympäristön. Ylimpänä Suomen tielaitoksen esimerkintäauto. Alhaalla vasemmalla Suomen tielaitoksen spray-kone ja oikealla Norjan tielaitoksen maalausauto.

Suojateillä ja risteysalueilla tapahtuvissa käsimerkintätöissä koko risteysalue on varustettava siirrettävin varoituslaittein ja liikenne on ohjattava pois työskentelykaistalta. Jokaisella miehistön jäsenellä tulee olla puhtaat ja asianmukaiset turvavarusteet, kuten suojaliivit ja -housut sekä mieluiten myös lippalakki.

Kaksisuuntaisella tiellä keskiviivaa tehtäessä edessä ja takana on oltava varoitusautot riittävän matkan päässä merkintätyökoneesta. Moottoriteillä kaikkia merkintätöitä ja kaksisuuntaisella tiellä reunaviivaa tehtäessä on varoitusauton seurattava merkintätyökoneetta. Nopean liikenteen osuuksilla on hyvä varustaa viimeinen varoitusauto kertakäyttöisellä törmäyspuskurilla.



Törmäyspuskurit on valmistettu pehmeästä kennomaisesta aineesta ja päällinen joustavasta PVC-muovista tai ohuesta alumiinilevystä ja ne on suunniteltu vaimentamaan jopa 100 km/h tulevan henkilöauton liikevoiman. Siirryttäessä paikasta toiseen puskurit nostetaan hydraulisesti pystyyn.

Merkintätyön suunnittelun pitäisi ottaa huomioon myös liikenneturvallisuus kalustoa valittaessa. Reunaviiva voidaan tehdä erittäin nopeasti. Merkintänopeus voi olla jopa 30 km/h ja tällöin koneen leveydellä on vähemmän merkitystä. Keskiviivastoa tehtäessä koneen leveydellä on huomattava merkitys ja silloin sen etenemisnopeus olisi hyvä olla pieni; 8 ... 20 km/h. Tällöin ohitus ja sivuutus tapahtuu nopeammin ja turvallisemmin.

Merkintä itse on suojattava kuivumisen ajaksi joko vaahto- tai muovikartioilla. Vaahtokartioiden hyvinä puolina on, ettei niitä tarvitse poistaa ja miehistöä ei tarvitse asettaa liikenneonnettomuuksille alttiiksi. Toiseksi kartiot eivät aiheuta henkilö- ja omaisuusvahinkoja. Kolmanneksi vaahto on ympäristöystävällistä ja sitoo mm. vähän energiaa. Huonona puolina ovat taas se, että vaahtokartiolla ei aina ole virallista asemaa liikenteen ohjausvälineenä. Toisekseen kartion ominaisuudet ovat mitä suurimmassa määrin riippuvaisia vaahtoaineen laadusta. Kolmanneksi raskas ja nopea kartion läheltä ajava liikenne hajottaa sen ennen kuin maalimerkintä on ehtinyt kunnolla kuivua. Vaahtokartion voi myös värjätä, mutta väriaineella on väliaikainen värjäävä ominaisuus. Väri peseytyy hyvin pois autoista ja merkinnästä se poistuu ensimmäisen sateen jälkeen.



Kuva saksalaisesta suojautumistavasta.

Kartiot ovat - olivat ne sitten vaahtoa tai muovia - valitettavasti joillekin autoilijoille haaste pelaamiseen. Tämä on yleismaailmallinen ilmiö ja sille ei yksinkertaisesti mahda mitään. Nämä pelaajat aiheuttavat eniten riskejä työntekijöille ja muille tien käyttäjille. Riskin aiheuttavat myös merkintäkolonnan väliin ajavat autot. Merkintäkolonnan pitäisi olla sijoittuneena siten, että liikenne pääsee ohittamaan sen kerralla tai sitten ohitustilaisuudet järjestetään liikenteenohjauksellisilla toimenpiteillä.

Levitystekniikka

Esimerkintäjärjestelmät

Etsimerkintäjärjestelmäratkaisuja on monia ja ne kaikki perustuvat näkemämittaukseen. Tehtävän suoritus perustuu kahden auton suoritukseen. Edessä ajaa havaintoauto ja takan merkintäauto. Autojen välimatka on annettu. Edellä ajavassa havaintoautossa on jokin mittapiste, yleensä teline. Kun mittapiste katoaa, takana oleva merkintäauto aloittaa merkinnän. Se pysähtyy ja maalausrobotti tekee tiehen halutut merkinnät sulku- ja varoitusviivoista. Muuten ajon aikana tapahtuu ns. täplittäminen, jonka perusteella tulee keskiviiva. Reunaviivojen paikat merkitään myös, mutta ei samalla suorituskerralla kuin keskiviivasto.

Nykyään esimerkintäkalusto on automatisoitu, ettei miehistön tarvitse tulla ajoradalle. Auton tulee kyllä pysähtyä. Pääsääntöisesti esimerkintäkalusto on rakennettu raskaalle pakettiautokalustolle. Niissä on sähköagregaatti, ilmanpaine kompressori ja kevyt maalausvarustus. Auton edessä on tähtäinlaite ja sisällä näkemämittausvarustus. Laitteistoon kuuluu myös PC, jossa on tietiedot. Siihen taltioituu jokainen esimerkintäimpulssi etenemän suhteen. Tätä tietoa voitaisiin käyttää hyväksi varsinaisessa merkintätyössä, mutta uskallusta käyttämiseen ei ole vielä kenelläkään ollut.



Ruotsin tielaitoksen esimerkintäauto.



Suomen tielaitoksen esimerkintäauto.



Ranskalainen esimerkintäauto.

Pinnan esivalmistelu ja merkintöjen poistamismenetelmät

Merkinnän onnistuminen on riippuvainen monesta eri asiasta. Voidaan sanoa, että suurin osa epäonnistumisiin johtaneista syistä löytyy tien pinnasta tai, jos ollaan tarkkoja, pinnan ja merkinnän välistä. Pinnan saattaminen mahdollisimman hyvään

kuntoon on kallista, mutta joskus tämä on hyväksyttävä, sillä epäonnistunut merkintä tulee kalliiksi oli maksaja sitten kuka tahansa. Epäonnistuneesta merkinnästä kärsii joka tapauksessa tien käyttäjä.

Pinnan esivalmistelulla pyritään parantamaan merkintämateriaalin pysyvyyttä tien pinnassa. Tyypillisimmillään esivalmistelussa käytetään pohjustusaineita. Poistamismenetelmillä estetään mm. vieraiden aineiden aiheuttamat hylkimiset ja edistetään merkintämateriaalien heikkoa kiinnittymistä alustaa karhentamalla. Esivalmisteluihin kuuluu myös pinnan puhdistus.

Yleensä merkinnän poistaminen ei ole ollut ongelma, päinvastoin. Liikenne on huolehtinut siitä, että seuraavaksi kaudeksi merkinnöistä ei ole jäänyt jäljelle paljoakaan tai ei mitään. Koska merkinnän tulee täyttää toiminnalliset vähimmäisvaatimukset sen toimintaiän aikana, joudutaan varmaankin tilanteeseen, jossa vanhaa merkintää on tallella totuttua enemmän, kun uudelleenmerkintä tapahtuu. Merkintä kasvaa tällöin liian korkeaksi. Se tulee pinnaltaan epätasaiseksi ja alentaa matkustusmukavuutta tai voi aiheuttaa vaaroja. Toinen syy poistamiseen on se, että merkintämateriaali vaihtuu ja hylkimisen estämiseksi vanhaa merkintää ei saa olla jäljellä laisinkaan. Myös uusi väylitys, ajolinjauksen muutos väylällä tai uusi pinta voi aiheuttaa sen, että vanhat toimivat merkinnät on syytä poistaa.

Merkinnän poistaminen voi olla tien pinnan kannalta joko kevyt tai vaurioittava toimenpide. Pyrkimyksenä ei kuitenkaan ole muuttaa tai vahingoittaa pintaa ja sen rakennetta. Poistamis- ja puhdistusmenetelmät on sovitettava vallitsevien olosuhteiden, pinnan laadun ja merkinnän mukaiseksi.

Tien pinnasta riippumatta, tulee sen olla puhdas ja kuiva eikä siinä saa olla irtoainesta. Tien pinnalla ei saa liioin olla öljyä tai vieraita kemikaaleja, esim. pakkasnestettä.

Pinnan esivalmistelulla on suuri merkitys merkinnän onnistumiseen. Ei pidä myöskään unohtaa työtapojen ja -ohjeiden tarkan noudattamisen merkitystä.

Sääntönä on pidettävä sitä, että materiaalista ja tien pinnasta riippumatta vanha merkintä tulee poistaa, ei peittää.

Esivalmistelu

Kuumamassat

Yleensä, kosteusongelmat ja pohjustaminen

Yleensä kuumamassojen takia tien pintaa ei tarvitse esivalmistella, jos tien pinta on puhdas ja kuiva asfaltti sekä massan levityslämpötila on 200 °C:n kummallakin puolella. Jos yksi tai useampi edellä mainituista neljästä asioista muuttuu, pinnan esivalmistelu on tarpeellista.

Puhtaus

Lian poistamismenetelmiä käsitellään seuraavassa jaksossa, joten tässä keskitytään tarttuvuuden edistämiseen muilla keinoilla. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että öljyn, pakkasnesteen ja muiden kemikaalien olemassaoloa ei silmin huomaa. Työkohteesta riippuu minkälainen mahdollisuus ylimääräisten kemikaalien esiintymiselle on. Pitkään käytössä olleet pysäköintialueet on yksi esimerkki

riskikohteista. Riskin muodostavat myös liikenneonnettomuudet, joissa öljyä ja/tai kemikaaleja on päässyt valumaan ulos. Nämä ovat kuitenkin paikallisia ongelmia ja siksi hyvin rajoittuneita sekä paikallisesti että ajallisesti.

Kosteus

Märän tien pinnan kuvaukseen ei käytännössä ole mitään järkevää tapaa. Kaasuliekkiä voidaan käyttää joissakin ääritapauksissa, mutta lopputuloksen laatua ei voi taata. Kuivaus tulee kyseeseen vain pienissä työkohteissa.

Pohjustus

Pohjustaminen alunperin on saanut taannoin alkunsa siitä yksinkertaisesta syystä, että kuumamassat eivät tarttuneet mihinkään pintaan. Silloin ei vielä ymmärretty riittävän hyvin tarttumisen mekanismia, joskaan ei sitä vielääkään pystytty kokonaan kaikissa tapauksissa selittämään. Kun massan tekemisen taito ajan myötä kasvoi ja havaittiin, että tarttuminen perustuu asfaltin ja massan sulamiseen yhteen, pohjustusaineiden käyttö kieli huonolaatuisesta massasta. Ehkä näin oli, mutta pohjustukselle on omat perustelunsa.

Vanhassa kuluneessa asfaltissa kovettuneesta mastiksista kiviaines on koholla ja sen määrä on suuri pinta-alayksikköä kohti. Kun tämän lisäksi kiviaines on hioutunut sileäksi on luultavaa, että kuumamassan tarttuvuus heikkenee huomattavasti verrattuna uudempaan asfalttiin, jossa kiviaines on särmikkäämpää. Toinen tunnetusti ongelmia aiheuttava pinta on betoni - riippumatta sen iästä. Kolmas ongelma on syntynyt liian huokoisesta asfaltista, jonka koloja korkean viskositeetin omaava massa ei täytä. Siksi massa tulee saada tarttumaan joko itseensä, toiseen muoviin tai sitten rajapinnassa tulee vallita tavattoman suuret kitkavoimat.

Pohjustuksessa on käytetty joko kuumamassavalmistajien omia aineita, jotka ovat yleensä joko samoja hartseja, joihin massan sideainekin perustuu tai sitten ne ovat olleet epoksipohjaisia 2-komponenttituotteita. Pohjustusaineet ovat värittömiä. Latekseja on käytetty korkean kitkan aikaansaamiseksi.

Jos ajattelee pohjustuksen käyttämistä betonin yhteydessä, tuntuu asia varsin luonnolliselta, sillä menetelmä on ollut ja tulee olemaan yleisesti käytössä betonilattioiden pinnoituksessa, niin miksi menetelmää ei voisi käyttää tiementekniikassakin? Samat lainalaisuudet ja ongelmat lattiapinnoituksessakin vallitsee.

Alhainen levityslämpötila

Jos massan levityslämpötila on alle 200 °C, ei tarttuminen perustu mastiksin ja massan sulamisella yhteen. Tällöin kyseessä on massa, joka on suunniteltu levitettäväksi alhaisessa lämpötilassa. Mitä alhaisempi lämpötila on, sitä oleellisemmaksi tulee puhtaan alustan merkitys. Samoiten alusta tulee käsitellä pohjustusaineella.

Jos massan hankintahinnassa ja etenkin levityskustannuksissa on mahdollista saavuttaa säästöjä, häviävät ne helposti alustan kuntoonsaattamisessa ja silti ei voi olla varma massan pysyvyydestä.

Teipit

Teipit asettavat alustan kunnolle samat vaatimukset kuin mitkä tahansa muutkin merkintämateriaalit. Koska teipit ovat muita materiaaleja jäykempiä, niiden kiinnittyminen varmistetaan pohjustusaineilla riippumatta siitä, onko teipeissä itsessään tartunta-ainetta vai ei.

Tartunta-aineita on ainakin kahta eri perustyyppiä: nestemäistä ja tahnamaista. Nestemäiset aineet levitetään ruiskuttamalla. Nesteet ovat värittömiä ja läpikuultavia. Ruiskutuksessa käytetään siihen tarkoitettua laitetta.

Tahnat voidaan levittää vain käsin joko tien pintaan tai teipin pohjaan. Ne sisältävät täyteaineita ja voivat olla väriltään vihreän harmaita.

Kumpienkin pohjustusaineiden tulee olla kosketuskuivia ja tahmaisia ennen teipin levittämistä. Aineet kuivuvat muutamassa minuutissa riippuen tien lämpötilasta, joka ei saa olla +10 °C alempi. Kuivumisreaktio on kemiallinen. Tahmaisena pohjuste pysyy muutamasta päivästä muutamaa viikkoon. Pohjusteet soveltuvat sekä asfaltille että sementille.

Pohjustusaineen ruiskutuslaitteisto on hyvin yksinkertainen. Se on kärry, johon aineastia kiinnitetään. Kärryssä oleva pumppu imee nesteen astiasta ja ruiskuttaa sen edelleen tien pintaan. Pumpun mäntä on yhteydessä kärryn etupyörään, josta liike välittyy kärryn etupyörästä pumpun mäntään. Kärryä työnnettäessä pumppu imee nesteen astiasta kammioon ja vedettäessä se palauttaa nesteen takaisin astiaan. Tällä ratkaisulla säästetään pohjustusainetta eikä työkohteiden koko ole pohjustusta rajoittava tekijä.

Pohjustusnesteet ovat liuotinhenteisiä ja siksi tulenarkoja. Käytännössä aineiden kanssa työskennellessä tulee noudattaa samoja työturvallisuustoimenpiteitä, kuin mitä liuotinmaalienkin yhteydessä noudatetaan.

Upotusmerkintä

Upotusmerkintä on kallista ja sen käyttöä kannattaa harkita.

Jyrsintä voidaan jakaa kahteen tyyppiin: kylmä- ja kuumajyrsintään. Kuumajyrsinnän jälki on mustaa ja kymäjyrsinnän kiven väristä. Upotetut merkinnät tehdään aina kylmäjyrsinnällä.

Upotusmerkintä ei ole riippuvainen merkintämateriaalista. Käytössä olevien koneiden kirjo on suhteellisen laaja. Yleensä upotuksissa jyrsimenä käytetään samoja teollisesti valmistettuja laitteistoja, mitä käytetään esim.asfaltin jyrsimisessä. Koneiden tulee olla painavia ja siksi upotusjyrsimet eivät ole käsikoneita, vaan itse vetäviä ja painavat noin 300 kg:sta ylöspäin. Jyrsimiä voidaan asentaa myös lisävarusteena pyöräkuormaajaan tai tiehöylään.

Upotuksessa varsinaisesti käytettävät koneet perustuvat 500 mm työleveydeltään oleviin koneisiin, joiden paino on alle 10.000 kg. Näissä jyrsinterät - kovapalateräiset piikit tai meisselit - kiinnitetään vaakatasossa pyörivään rumpusegmenttiin. Jyrsöksen leveyttä voidaan säätää mielivaltaisesti rumpuun asennettavilla segmenteillä. Piikkien kärkiväli on 7,5 mm, joka tarkoittaa sitä, että rummulla piikit ovat lomittain. Tällä ratkaisulla saavutetaan tasainen jyrsöksen

pohja. Vertailun vuoksi mainittakoon että, kun tavallisessa asfaltin jyrksinnässä työleveys on 2 m, piikkien kärkiväli on 15 ... 20 mm ja tällöin jyröksen pohja on urainen ja asfaltti lohkeaa isompina palasina. Jos upotustöissä jyröksen pohjasta halutaan hyvinkin tasainen, piikin tilalle vaihdetaan taltta. Taltta on hankintahinnaltaan moninkertainen tavalliseen pyöreään piikkiin verrattuna ja ne kuluvat paljon nopeammin, koska taltta ei liiku rumpusegmentissään. Pyöreä piikki pyörii paikallaan ja kuluu tasaisesti. Käytännössä taltan käyttöllä ei saavuteta mitään etua piikkiin nähden.

Jyrsinpiikin koko vaikuttaa suoraan työtehoon. Jos piikin kovapalaterän poikkipinta-ala on suuri, niin sen aiheuttama etenemisvastus saattaa muodostua sen verran suureksi, että koneen teho loppuu. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että mitä pienempi kone on, sitä pienemmät piikit siinä tulee olla.

Jyrsimen voimansiirto voidaan toteuttaa kolmella tavalla: hihna- tai ketjuvedolla tai nestemoottorilla. Hihna- ja ketjuvedolla ei saavuteta tasaista ja tarvittaessa riittävän lujaa vetoa. Ketjuvetoisia koneita ei enää valmisteta ja syy on niiden rikkoontumisalttius. Jos tällaisen koneen terä osuu esim. kaivon kanteen, pysähtyy jyrsinrumpu ja koska ketju on sitkeä ja voimakas, rikkoo se laitteistoa. Hihnavedossa rikkoontumisongelmaa ei ole, sillä hihna lähtee luistamaan. Jyrsimen nopeuden säätö hihna- ja ketjuvetoisilla koneilla onnistuu hankalasti, sillä hihnapyöriä vaihtamalla säädetään pyörimisnopeutta. Nestemoottoriratkaisut ovat nopeimpia ja kaikin puolin turvallisempia. Jos terä väkisin pysähtyy, varoventtiilit ohjaavat paineet muualle ja vahinkoja ei pääse tapahtumaan. Nestemoottoreilla saavutetaan tasainen veto suuremmat työnopeudet ja jyrsinrummun pyörimisnopeutta voidaan helpommin säätää.

Jyröksen syvyyttä säädetään jyrskoneen rungon korkeutta säätämällä hydraulisesti. Koneen pyörät - etu-, taka- tai kaikki pyörät - ovat hydraulisylinterin varassa. Pystysuoraan mittatarkkuus on teoriassa millimetrin kymmenysoasia, mutta käytännössä se lienee muutamia millimetrejä. Nopea säätöautomaatiikka pitää huolen säädetyistä työstösyvyydestä. Korkeuden säätämiseen voidaan käyttää kolmea eri tapaa: lasersädetä, vaijeria tai mekaanista korkeuden tunnistinta, joka tunnistaa vieressä olevan tien pinnan. Koneeseen on saatavilla myös sivuttais- ja pituusautomaatiikka, joilla tien pinnan epätasaisuuksien ja kallistelun aiheuttamat haitat voidaan poistaa.

Jyröksen mittatarkkuus saattaa kärsiä jonkin verran asfaltin saumakohdissa, keskiviiva tästä esimerkkinä.

Kone voidaan varustaa katkoviivan tekoa varten jakolaitteella. Laitteella voidaan määrätä jyröksen pituus ja keskinäiset etäisyydet. Jakolaitte ohjaa jyrsimen laskua ja nostoa.

Nuolet tehdään jyrsimällä ensin ääriiviivat ja sitten keskusta. Vinot sivut saadaan aikaiseksi konetta kääntämällä. Koneesta riippuen siinä on kääntyviä pyöriä 2 ... 4 kpl. 3-pyöräisellä koneella voidaan näppärästi jyrsiä kaaria, esim. kaivon kansien ympärystät. Nuolien terävät kärjet joutuu tekemään käsin - ylensä paineilma- tai hydraulivasaralla.

Jyröksen päätyreunat eivät ole aivan suorat, vaan terärummun kaaren muotoiset. Merkinnän kannalta uran muodolla ei ole merkitystä.

Työnopeus on vapaasti säädettävissä 0 ... 30 m/min. Etenemisnopeus vaikuttaa työn laatuun. Jos nopeus on liian suuri, terä ei ehdi työstää, vaan se auraa ja edetessään lohkoo asfalttia suurina palasina. Nopeus on sopeutettava asfaltin ja siinä olevan kiviaineksen laatuun sekä tien pinnan lämpötilaan. Kun työnopeus on ihanteellinen, niin muuttuvat olosuhteet huomioiden työnopeus on 2 ... 8 m/min. Ihanteellinen työnopeus löytyy haarukoimalla.

Konetta voidaan ohjata erittäin tarkasti lasersäteellä tai vaijerilla, mutta yleisesti käytetään hydraulista ohjausta. Vaijeriohjaus on toteutettu niin, että koneessa on anturi, joka tunnistaa koneen sijainnin vaaitetun vaijerin suhteen. Tätä ohjaustapaa käytetään esim. lentokenttätöissä.

Käsivaralta linjassa pysyminen on vaikeaa. Hankalaksi suuntaamisen tekee mm. hidas etenemä, jolloin ohjaajan keskittymiskyky kärsii. Muita syitä ovat liikenteen ja työn laadun seuraaminen. Linjassa pysymistä on helpotettava tihentämällä muuta merkintätyötä varten tehtyä apumerkintää. Parhaimmin apumerkintä tässä toimisi silloin, kun se on yhtenäinen viiva tai pilkutettu erittäin tiheästi. Missään tapauksessa tavalliselle linjamerkinnälle tarkoitettu apumerkintä ei harvan täplityksensä takia riitä, vaan sitä joutuu täydentämään.

Yleensä jysinterät ovat joko etu- tai takapyörien välissä, mutta yleisin ratkaisu on takapyörien lähellä. Jos jyrin on pyörien edessä tai takana, jyrin rummun ohjaus hankaloituu, sillä koneen oma liike vaikuttaa liikaa jyrin pystysuoraan liikkeeseen. Terät pyörivät etenemään nähden vastakkaiseen suuntaan.

Jysinterät voidaan joissakin malleissa kiinnittää myös koneen sivulle. Näillä ratkaisuilla päästään tarkkaan lopputulokseen, koska terät ovat koko ajan kuljettajan näkyvissä ja tarvittaessa terät voidaan vaihtaa nopeasti silloin, jos työstöleveydet vaihtelevat.

Asfalttia ei nykyiset koneet lämmitä, sillä niiden konetehot riittävät kylmäjyrintään. Joissakin vanhoissa koneissa oli kosanpolttimia tai infrapunasaiteilijoita pienen konetehon takia. Asfaltin lämmittäminen saattaa säästää teriä jonkin verran, mutta jos asfaltti lämpenee liikaa, ei urien reunoista tule suorja. Liian lämpimästä asfaltista kivet irtoavat, kun niiden tulee leikkautua.

Jyrinkoneet ovat suuntavakaita silloin, kun jyrin terät ovat koneen alla tai sivulla. Kone ohjautuu hyvin silloin, kun jyrin on pörien välissä. Suuntavakavuutta antaa myös kovakumipyörät - teräpyörä, jossa on noin 3 cm paksu kovakumikerros. Ilmakumipyörät päästävät koneen vaappumaan. Vertailtaessa kovakumi- ja ilmakumirenkaisten koneiden jyröksiä, laatuero on selvästi nähtävissä.

Murske voidaan kerätä kuormaushihnalle, josta se tyhjenee kuorma-auton lavalle. Käytännössä hihnaa ei käytetä vähäisen murskemäärän takia, vaan murske kerätään harjakoneella. Vaikka jyrin olisikin varustettu kuormaushihnalla, harjakonetta tarvitaan kuitenkin. Toinen käytännöllinen menetelmä on imurin käyttö. Se on lisälaite, joka kiinnitetään jyrinkoneen taakse.

Kun merkinnän upotussyvyys on 5 ... 10 mm, koneellinen harjaus on niin tehokas, että mahdollisesti jäljelle jäävä irtoaines ei estä merkintämateriaalin kiinnittymistä alustansa. Harjausta käsin ei tarvitse suorittaa.

Jyrsinnässä syntyvä pöly sidotaan jyrinkammioon sumutettavalla vedellä. Samainen vesi toimii myös terän ja asfaltin välissä voiteluaineena. Veden kulutus on niin pientä, että merkinnän voi laskea välittömästi harjauksen jälkeen.

Poistamismenetelmät

Koska tien pinnan kunto vaihtelee jatkuvasti, mitään patenttiratkaisua sen esikäsitteilyyn ei ole. Vastaavasti vanhan merkinnän poistaminen on riippuvainen mm. merkintämateriaalista ja sen kiinnittymisestä tiehen.

Ei ole epätavallista, että merkintätoissa noin puolet kokonaiskustannuksista muodostuu pinnan esivalmistelusta. Siksi merkinnät usein tehdään esivalmistelemattomalle pinnalle.

Likakalvon, kuran, suolan ja irtoaineksen poistamiseen voidaan käyttää mm. harjaamista, polttamista, hiekkapuhallusta, sinkoamista tai painevesiruiskutusta. Menetelmän valinta on vastuullinen tehtävä, sillä kohteesta riippuen poiston jälki saattaa johtaa harhaan ja seuraukset voivat olla tuhoisat. Päivällä huonosti näkyvä merkintä saattaa olla erittäin toimiva pimeällä. Pieni määrä rouhittua merkintämateriaalia ja/tai hiekkapuhalluslasia voi näkyä pimeällä erittäin hyvin. Nämä pienet määrät saattavat jäädä karkean asfaltin rakosiin. Vaalea jyrity kiviaines voi olla hämärällä tai pimeällä yhtä valoisa kuin paluuhelijastuvuutensa menettänyt kuumamassa. Siksi on pyrittävä siihen, että uudelleenmerkintä tapahtuu samana päivänä kuin vanhan merkinnän poisto. Muussa tapauksessa mahdollisten vahinkojen välttämiseksi poistamisen jäljet on heti tarkastettava samana päivänä, kun on pimeää.

Vanhan merkinnän peittämistä ei voi katsoa poistamismenetelmäksi, sillä peite kuluu siinä missä muukin merkintä ja pian alta paljastuu vanha merkintä. Siksi peittäminen onkin ehdottomasti kiellettävä toimenpide.

Erilaiset merkintämateriaalit, teiden pintaukset, pintojen erityyppiset kunnot, lian laatu ja poistamismenetelmät yhdessä tekevät sen, että yhdistelmiä on paljon. Tämä tekee "oikean" poistamismenetelmän valinnan vaikeaksi. Kuten aiempänä todettiin, yksi menetelmä ei käy kaikkiin tapauksiin. Poistamis- ja puhdistusmenetelmiä esittelevässä taulukossa on esitelty myös niiden välisiä tehokkuusvaikutuksia ja kustannusvertailuja. On huomioitava se seikka, että valintaa ei voi aina tehdä halvimman hinnan perusteella, vaan myös saatavilla oleva kalusto asettaa omat ehdot. Taulukko on laadittu siten, että paineilmapuhallus on tehottomin ja hiekkapuhallus tehokkain. Kullakin menetelmällä on omat hyvät ja huonot puolensa, jotka käyvät ilmi taulukosta. Valitettavasti sinkousta ei ole otettu mukaan vertailuun.

	Pinnan esivalmistelu	Merkinnän poistaminen
Paineilma	0,05	0,005
Polttaminen	2,0	8,0
Kemikaalit	6,0	5,0
Jyrsintä	9,0	6,0
Hiekkapuhallus	10	10
Painevesi	7,0	5,0
Teräsharja	7,0	0,5

Eri esivalmistelu- ja poistamismenetelmien tehokkuusvertailu.

0 = ei poista materiaalia - vahingoittaa tien pintaa

10 = poistaa materiaalia - ei vahingoita tien pintaa

Paineilmapuhallus

Yleisin käytössä oleva menetelmä on paineilmapuhallus. Menetelmä on itseasiassa sivutuote niissä maalauskoneljärjestelmissä, missä käytetään hajoitusilmaa. Ilma puhalttaa irtonaisen aineksen pois ja hajoittaa kostean kalvon, mutta jättää likakalvon ja kiinnittyneen lian paikoilleen. Erikseen käytettynä paineilma edellyttää ylimääräistä painekapasiteettia, joka merkitsee omaa kompressoria. Menetelmä on pinnan esivalmistelun kannalta kuitenkin niin tehoton, että se antaa enemmän mielenrauhaa kuin mitään muuta.

Polttaminen

Yleensä tiellä oleva likakalvo muodostuu palamattomista inerteistä - kemiallisesti reagoimattomista - aineista. Polttamisella ei ole tarkoituksaan vaikuttaa likakalvoon, vaan sillä poistetaan merkintä. Menetelmä ei ole mikään uusi. Polttoaineena perinteisesti käytetään butaania, propaania tai kaasujen ja ilman sekoitusta. Liekin lämpötila voi nousta 1.100 °C:een. Perinteisissä merkintämaaleissa ja kuumamassoissa on runsaasti hajoamattomia väriaineita, lisä- ja täyteaineita, jotka palavat huonosti. Siksi polttoaika venyy pitkäksi. Palamisessa aineiden hajoaminen on hidasta ja siksi tien pinta saattaa kärsiä varsinkin huolimattoman työskentelyn tuloksena. Asfaltti sulaa ja betoniin tulee pistemäisiä jännitteitä.



Polttamisen yhteydessä suojautumisessa on noudatettava suurta varovaisuutta ja toimittava liikenteen ehdoilla.

Kehittyneempi versio menetelmästä on propaanin ja puhtaan hapen polttaminen yhdessä, jolloin liekin lämpötila nousee 2.500 °C:een. Polttamisella itseasiassa kiihdytetään hapettumista ja hajoamisprosessia. Lisähapetta suunnataan suoraan poltettavaan kohteeseen sitä varten varatulla suuttimella. Järjestelmä koostuu

happi- ja polttoainepulloista, pitkästä letkusta, työntökärrystä, johon suuttimet on kiinnitetty ja kahdesta suulakkeesta, joista yksi on happi-propaanipoltin ja toinen lisähapen syöttösuutin. Tämä menetelmä on paljon nopeampi verrattuna tavalliseen liekkipuhallukseen. Nopeudesta johtuen tien pintaan ei ehdi johtua paljoakaan lämpöä ja siksi mahdolliset vauriot jäävät pienemmiksi. Toisekseen menetelmänä tämä on tarkempi ja sitä on helppo käsitellä. Palamisjäännös on helposti harjattavissa tai sitten liikenne ja sää pitävät huolen siitä, että karsta lähtee aikanaan. Karsta on karkeaa. Sen likaamisominaisuuksista ei ole tietoa. Tämän polttamismenetelmän on havaittu toimivan hyvin merkinnöille, jotka ovat korkeintaan 500 μ paksuja. Tätä paksumpiin merkintöihin menetelmä on tehoton. Menetelmä soveltuu hyvin merkintäteipeille ja erittäin hyvin sisätilakäyttöön.

Kuumien liekki saavutetaan liekkiharjauksella. Siinä poltetaan happi-asetyleeniseosta ja liekki saavuttaa 3.100 °C:een lämpötilan. Tässä ei erikseen johdeta ylimääräistä hapetta poltettavaan kohteeseen. Poltin muodostuu kaasusekoituksesta, 50 cm pitkistä putkesta, poltinvarresta ja leveästä harjamaisesta suokappaleesta, jossa on useita pieniä reikiä liekkiä varten. Harjan leveyttä voidaan muuttaa vaihtamalla 5, 10 ja 15 cm:n levyisiä riviliekkisuulakkeita.

Betonipintojen liekkiharjauksessa poltinta kuljetetaan merkinnän yläpuolella. Etenemä on noin 1 m minuutissa. Liekin lämpö johtuu merkinnän läpi kiinnittymispintaan, jossa tapahtuu pienimuotoinen rapautuminen. Betoni kuoriutuu. Poistettava maali ja öljy palavat sekä kumijäte palaa tai liukenee. Karsta poistetaan harjaamalla. Menetelmää voidaan käyttää myös pinnan kuivattamiseen ja tällä tavoin esivalmisteltuun pintaa merkintä kiinnittyy paremmin kuin käsittelemättömään.

Asfalttipinnoilla liekkiharjaus on pintauksen kannalta turvallisinta polttomenetelmä nopeutensa takia. Poistettavien materiaalien paksuus saa tässäkin olla korkeintaan 500 μ :tä. Se soveltuu hyvin merkintäteipeille ja erittäin hyvin sisätiloihin.

Kemikaalit



Etsaus ja huuhtominen painevedellä.

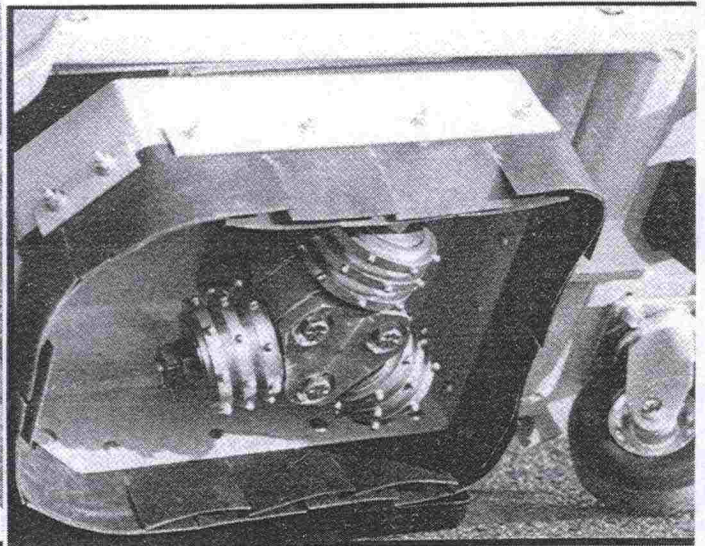
Tien pinnan etsaus 3%:lla fluorivetyhapolla on havaittu parantavan merkintämateriaalien kiinnittymistä. Hapon käytössä on kuitenkin ongelmia ja suuria riskejä. Ongelmat ovat kuljetukseen ja varastointiin liittyviä. Käsittely ja käyttö sisältävät riskejä sekä työntekijöille että autoille, sillä happo on suuren luokan myrkky. Fluorivetyhappo syövyttää lasia salamannopeasti. Lisäksi aine on kallista.

Merkittävä tien pinta käsitellään hapolla ja annetaan sen vaikuttaa jonkin aikaa, jonka jälkeen se poistetaan ja pinnan annetaan kuivua ennen merkinnän tekoa. Menetelmä on havaittu hyväksi, kun halutaan parantaa merkintöjen pysyvyyttä sementtiteillä. Etsaus on tehokas, mutta suurien riskien ja myrkyllisyytensä takia menetelmää ei kuitenkaan voi suositella.

Kemiallinen poisto soveltuu korkeintaan 500 μ :tä paksuille merkinnöille. Menetelmä on sitäpaitsi hidas, koska kemikaalin on ensin annettava vaikuttaa, sitten se on poistettava huuhtomalla, jonka jälkeen pinnan on annettava kuivua ennen merkinnän tekemistä. Tienkäytön kannalta menetelmä ei ole suositeltava.

Jyrsintä

Jyrsintää käytetään sekä pinnan puhdistukseen että vanhojen merkintöjen poistamiseen. Jyrsintä vaurioittaa asfalttia. Menetelmä soveltuu parhaiten asfalttipinnoilla oleville kuuma- ja kylmämassoille sekä maaleille. Teippimateriaalit tukkivat terät. Jyrsinnän jälki on erittäin näkyvä ja siksi jyrsintä on syytä suorittaa pian ennen uuden merkinnän tekoa. Jyrsintää suositellaan paikkoihin, joissa täsmälleen samalle kohdalle tulee uusi merkintä. Lohkeilevaa asfalttipintaa ei ole hyvä jyrsiä.



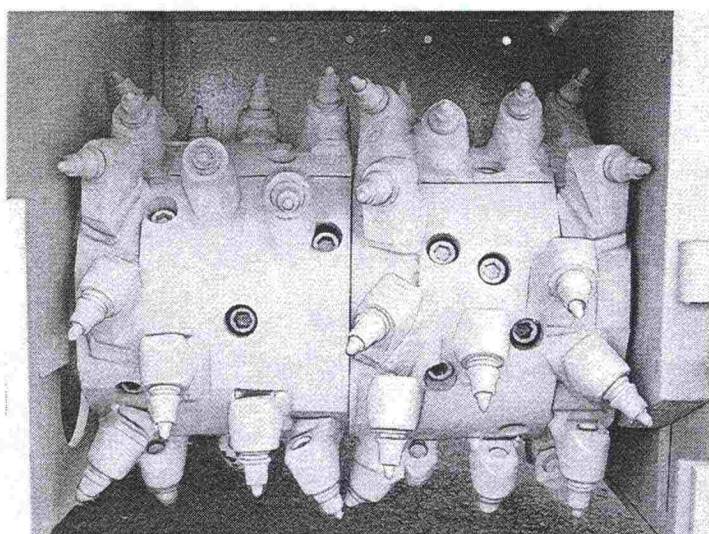
Käsijyrsin ja sen pohja.

Jyrsinnässä voidaan käyttää joko käsikalustoa tai raskaita koneita. Käsikoneissa käytetyt terät ovat kovapalateriaa. Terät on kiinnitetty kolmiakseliseen karaan, jossa ne pääsevät liikkumaan sekä vaaka- että pystyasossa. Terien liike tekee sen, että

jäysöksestä tulee epätasainen. Reunoihin pyritään saamaan häivytyks, jotta jäysöksen jälki ei tulisi liian huomiota herättäväksi.

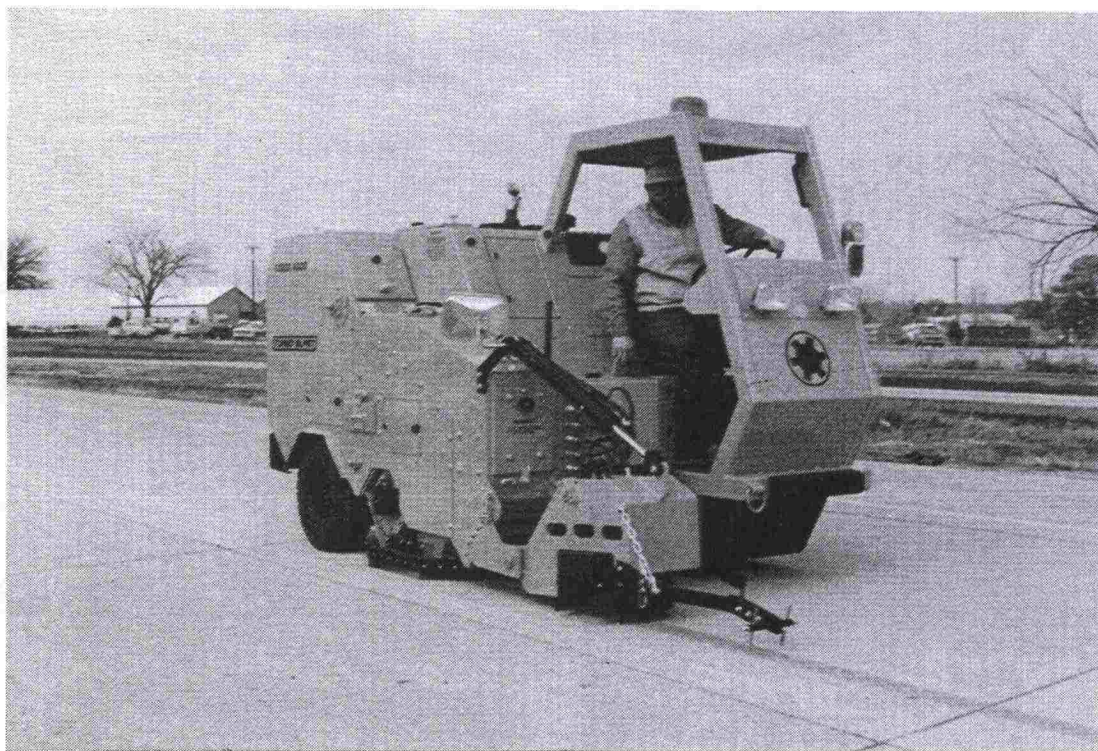
Jäysinten terän korkeutta ja painevoimaa voi säätää. Koneet painavat noin 160 ... 200 kg ja niiden painoa voi säädellä lisäpainojen avulla.

Raskaiden koneiden terätoteutuksia on kahdenlaisia. Terät voidaan kiinnittää joko kolmiakseliseen karaan tai sitten käytetään pylpyrää. On myös toteutuksia, joissa jäysinterä kiinnitetään pystyakseliin. Nämä ovat ns. monikäyttökoneita, joissa voi käyttää tavallisen jäysinterän lisäksi lieriöterää tai teräsharjaa.



Saksalainen jäysin ja sen teräpakka.

Terien voimansiirrossa käytetään joko hihna- tai kardaanivälitystä, joista kardaanin on toimintavarmuinen ja antaa tasaisen välityksen.



Amerikkalainen monitoimijäysin. Siinä kara on pystyasennossa.



Pystyssä oleva jyrskara ilmeisesti on tiemarkintöjen poistossa rumpumallia tarkempi ja tien pintaa vähemmän vaurioittava.

Betoniteillä jälkihoitoaineiden ja vanhan merkinnän poistamisessa voidaan periaatteessa käyttää jyrskintää, mutta sen vahingoittava vaikutus on merkittävä. Siinä betoni ei kärsi, vaan sen kiviaines. Siihen syntyy hiushalkeamia ja halkeamaan pääsevä vesi irrottaa kiviaineksen sementistä. Rapautuminen käynnistyy välittömästi irrottaen nopeasti myös merkinnän. Tapahtumaan kuluu noin 3 ... 8 kk. Siksi hiekkapuhallus tai sinkoaminen ovat suositeltavimmat menetelmät.

Hiekkapuhallus

Hiekkapuhallus on menetelmänä tehokas, sillä sitä voi käyttää sekä pinnan puhdistamiseen että kaikkien markintämateriaalien poistamiseen, joskin teippien poistamiseen kuluu erittäin paljon aikaa.



Hiekkapuhallus tiemarkintänastojen asennuksen yhteydessä.

Hiekkapuhalluksen teho on riippuvainen puhalluslaitteiston lisäksi markintämateriaalin ja likakerroksen paksuudesta sekä niiden sitkeydestä. Menetelmä vahingoittaa vähiten asfaltin ja etenkin betonin pintaa. Myös hiekkapuhallus jättää aina tien pintaan jäljen, mutta sen vaikutus pinnan rakenteeseen on vähäinen ja värimuutokset jäävät pieniksi.

Avoimessa hiekkapuhalluksessa tarvittava laitteisto on runsas ja puhallusmateriaalia kuluu paljon. Sen talteenotto on myös hankalaa. Avoin kuivana tapahtuva puhallus saattaa haitata liikennettä ja on tarkasti varottava, että puhallusmateriaalia ei joudu ajouriin. Puhalluksen jäljet on aina siivottava.

Painevesiruiskutus

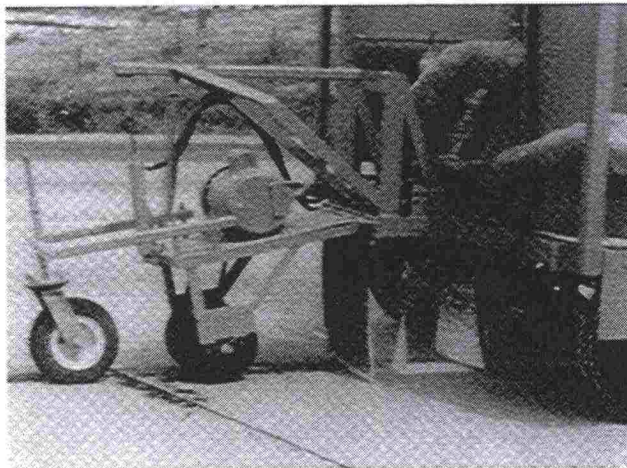
Painevesiruiskutus soveltuu sekä puhdistukseen että merkintöjen poistamiseen. Suolaisen pinnan puhdistukseen menetelmä on lyömätön. Veden paine on 14 ... 70 MPa ja siihen sekoitetaan puhallushiekkaa tai -lasihelmiä, jos merkintää on tarkoitus poistaa. Menetelmä on yhtä tehokas kuin hiekkapuhalluskin sillä erotuksella, että pinnan on annettava kuivua ennen merkinnän tekoa.



Painevesiruiskutusta.

Harjaus

Harjaus teräsharjalla soveltuu hyvin puhdistukseen, mutta ei merkintöjen poistamiseen. Se on helppokäyttöinen ja on erinomainen epätasaisilla pinnoilla. Teräsharja poistaa likakalvoa, kuraa ja etenkin irtoainesta sekä naarmuttaa tien pintaa sopivasti, jotta merkintämateriaalien tartunta paranisi. Teräsharja voi olla asennettuna joko pysty- tai vaaka-asentoon.

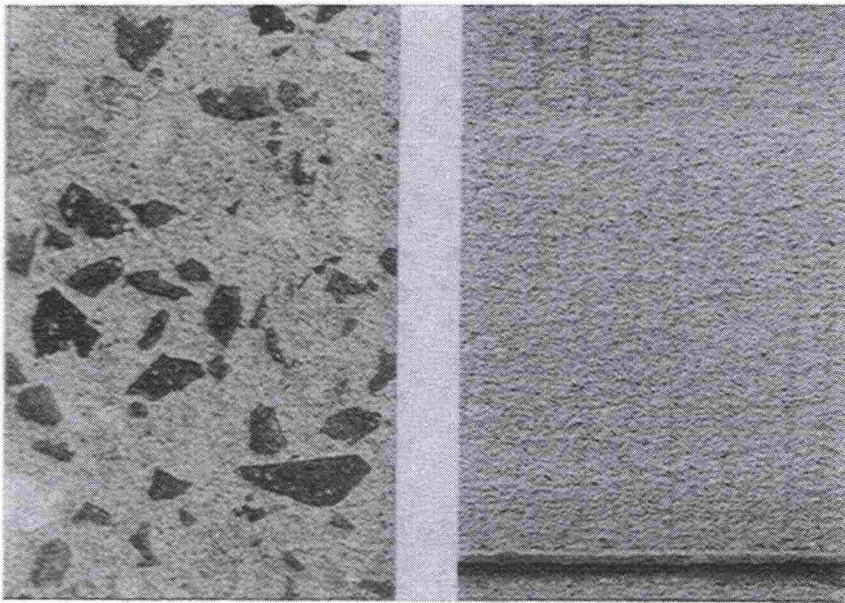


Tässä teräsharja on sijoitettu maalipistoolien eteen. Välissä on roiskeläppä.

Sinkoaminen

Sinkoaminen on pinnan esivalmistelumenetelmistä jysynnän ohella yksi tehokkaimmista ja sijoittunee hiekkapuhalluksen ja jysynnän väliin. Etuna tässä on se, että sitä voi käyttää sekä puhdistukseen että merkintämateriaalien poistamiseen. Hyvä puoli on se, että teippimateriaali ei tuki koneen paikkoja, mutta poistaminen vie kuitenkin enemmän aikaa kuin kuumamassan. Työn jälki on hyvää, tasalaatuista ja se ei ole pinnan kannalta kovinkaan väkivaltainen toimenpide. Parhaiten sinkoaminen soveltuu betonipinnoille.

Sinkoaminen on hidasta ja sen etenemä on riippuvainen poistettavan materiaalin paksuudesta ja konekapasiteetista. Sinkoaineena käytetään metallikuulia. Sinkokoneen ulkonäkö ei poikkea paljoakaan aiempaan olevasta amerikkalaisesta monitoimijysinkoneesta.



Singotun tien pinnan jälki on riippuvainen koneen etenemisnopeudesta. Tässä esimerkissä kummatkin pinnat ovat betonia.

Nastat

Tiementäätänastoja on karkeasti jaoteltuna kolmea tyyppiä:

- väliaikaisia, jotka kiinnitetään pintaan,
- pysyviä, jotka kiinnitetään pintaan ja
- pysyviä, jotka upotetaan.

Kiinteästi asennettujen nastojen poistaminen on harvinaista ja se tuleeikin käytännössä kyseeseen vai silloin, kun tien pinta uusitaan. Tarjolla on myös sellaisia kiinteitä pintanastoja, jotka voidaan kierrättää Remix-rouheen seassa. Tällöin ei poistamista tarvitse tehdä.

Väliaikaiset nastat

Väliaikaiset tiemerkintänastat kiinnittyvät yleensä butyyliliimatyynyn avulla. Nastat poistetaan lapiolla. Ajan myötä ne irtoavat itsestään liimatyynyn menetettyä tehonsa.

Pysyvät pintanastat

Pysyvien pintanastojen kiinnitykseen käytetään joko 2-komponenttiliimoja tai bitumia. Kummallakin lailla nastat kiinnittyvät lujasti ja siksi poistaminen tulee tehdä joko koneen kauhalla tai paineilmatyökalulla. Menetelmästä riippumatta poistamisen yhteydessä irtoaa yleensä myös asfalttia. Betonipinnoilta pintanastat irtoavat helpommin ja vähemmin vaurioin. Tällöin irroittaminen voidaan suorittaa meisselillä.

Upotettavat nastat

Upotustavasta - ankkuroimisesta tai jyrsimisestä - riippumatta nastan voi poistaa vain paineilmatyökalulla. Reikä on välittömästi paikattava.

Profiloidut merkinnät

Profilointi voi olla pysty- ja vaakasuoraa. Suunnasta riippumatta tarkoituksena on saada aikaiseksi tasoyksikköä kohti mahdollisimman paljon heijastavaa pinta-alaa. Useimmiten profilointi suuntautuu ylöspäin, jotta jokin osa merkinnästä olisi vesikalvon yläpuolella. Profiloitujen merkintöjen arvostuksessa ei voida käyttää missään vaiheessa pinta-alamittoja.

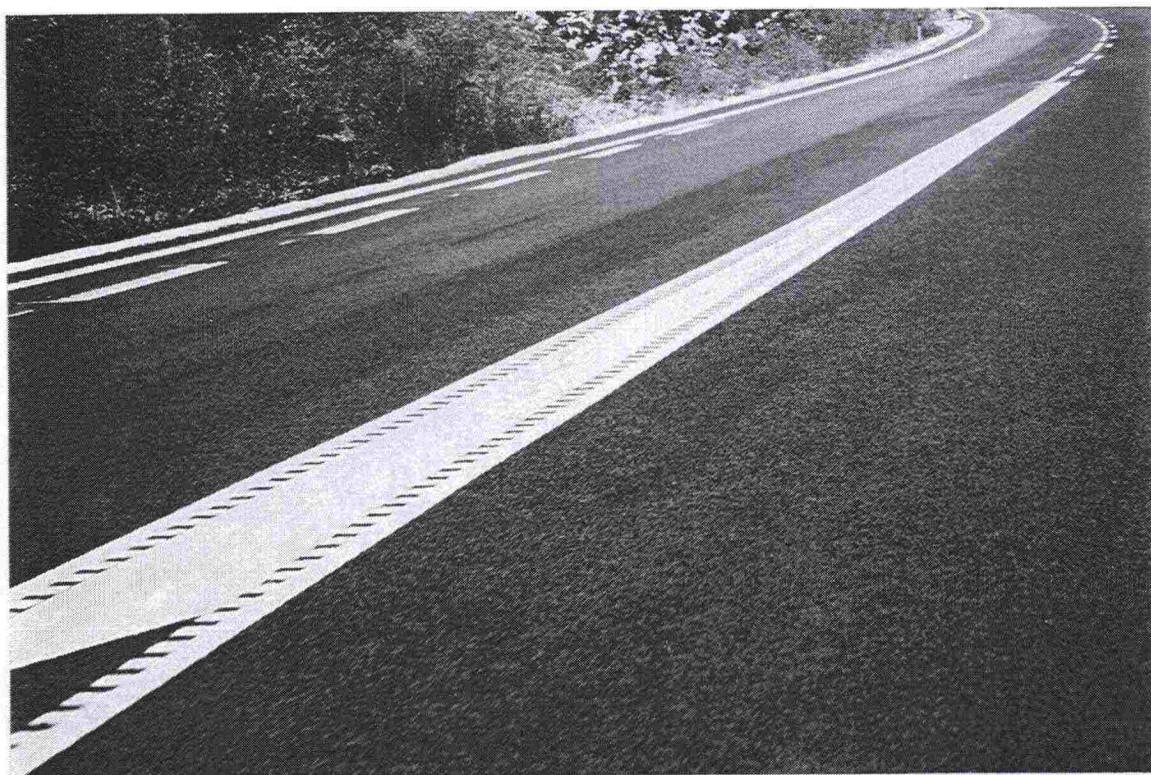
Profilointien muodot perustuvat erilaisiin näkemyksiin visuaalisuuden toimivuudesta ja veden virtauksesta. Seuraavissa kuvissa esitellään erilaisia profilointeja. Menetelmät edellyttävät joitakin poikkeuksia lukuunottamatta ekstruderikonetta.



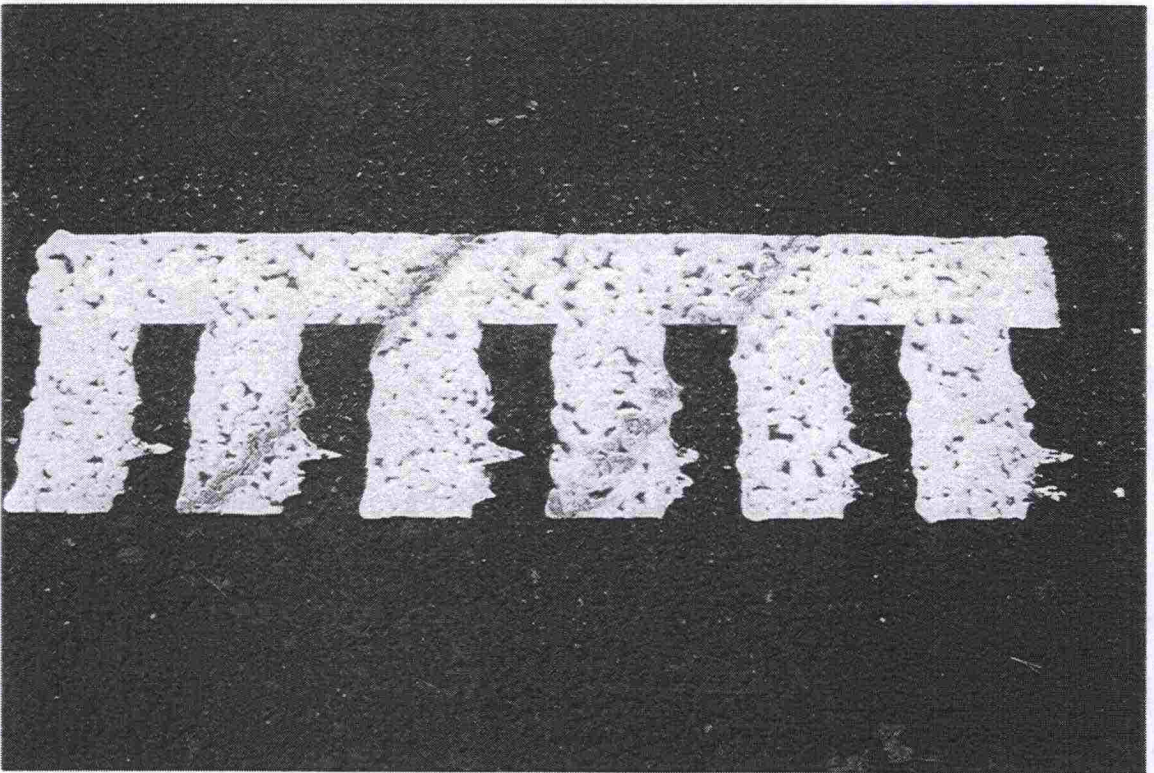
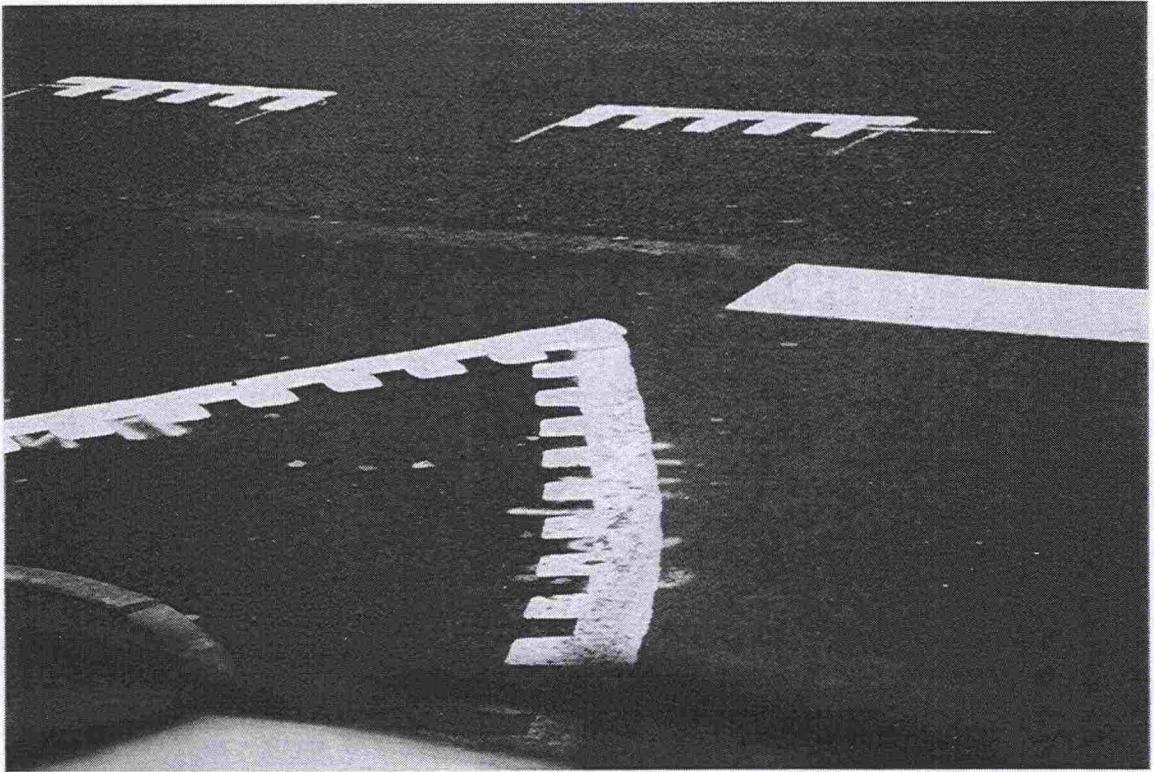
Karkealle tien pinnalle ruiskutettu spray-massa.



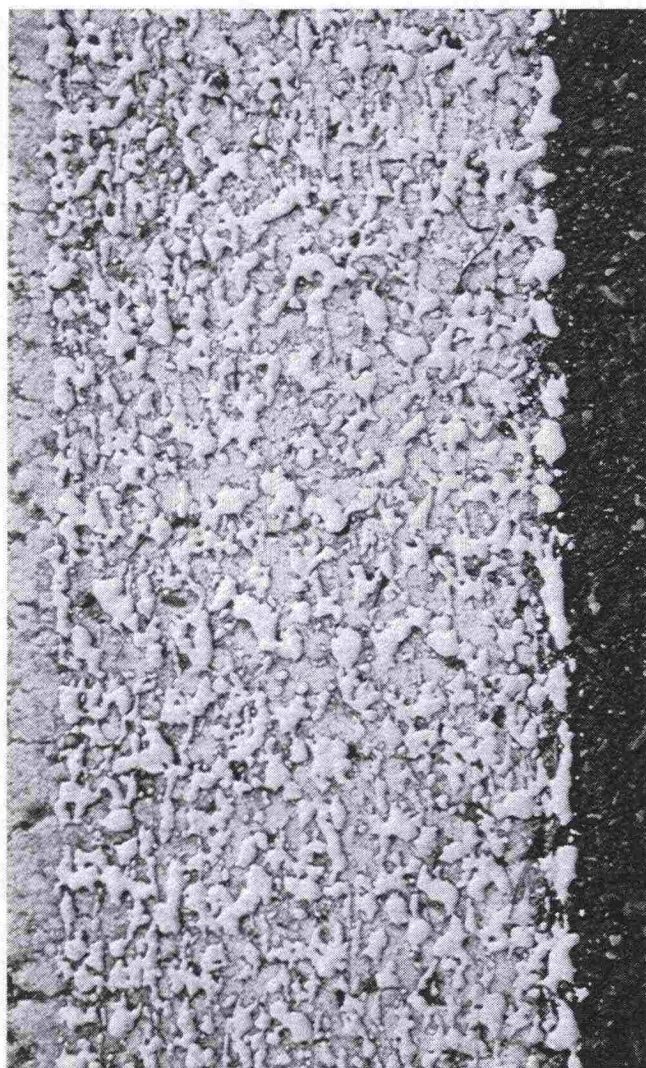
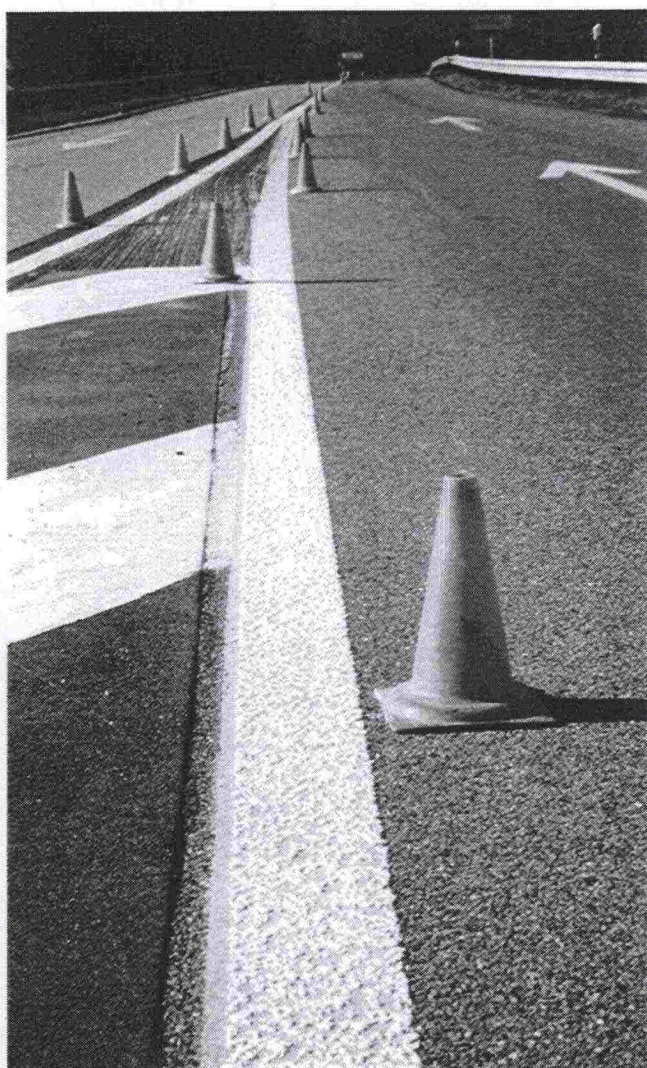
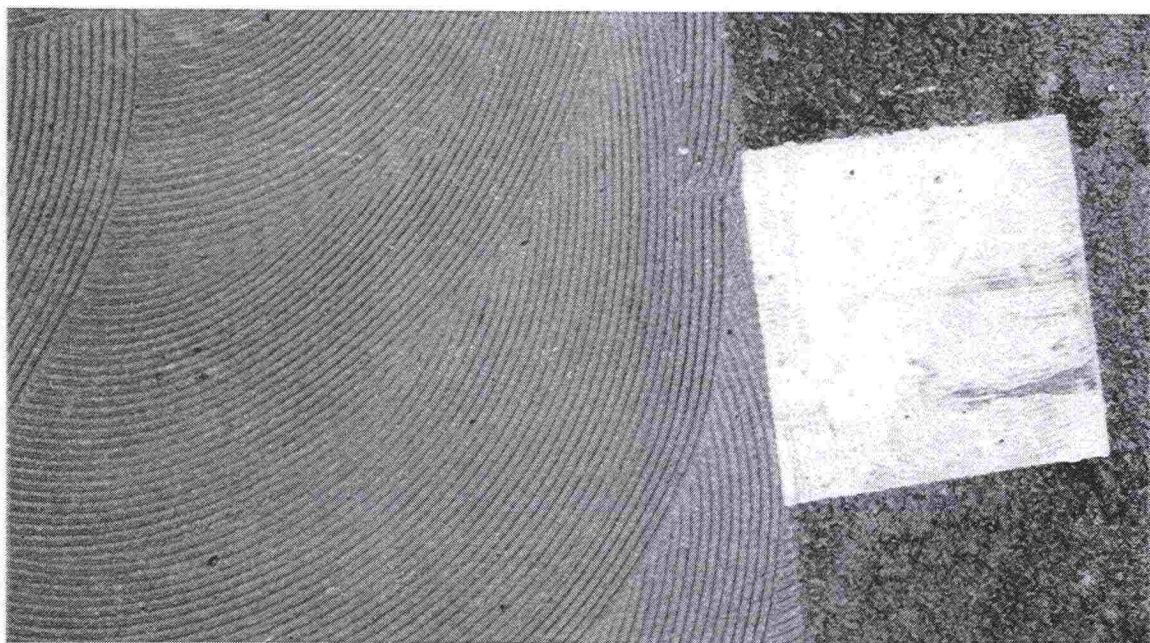
Tässä Kamflex-merkintä (10 cm + 20 cm) on tehty niin, että kamman piikkiä on jatkettu 10 cm:llä jatkoksen ollessa hieman limittäin. Ajaessa ei limitystä kuivalla näe, mutta merkintä näkyy märällä kelillä tavanomaista 20 cm:n kappaa tehokkaammin. Auruksessa kamman kanta katkeaa piikkien juuresta. Murtunut Kamflex on epäesteettinen, mutta toiminnallisuus ei ole paljoakaan pudonnut.



Kamflex 10cm + 10 cm risteysmerkinnöissä korostaa merkintöjen eriarvoisuutta ja antaa joustavuutta merkintöjen muotoilussa.



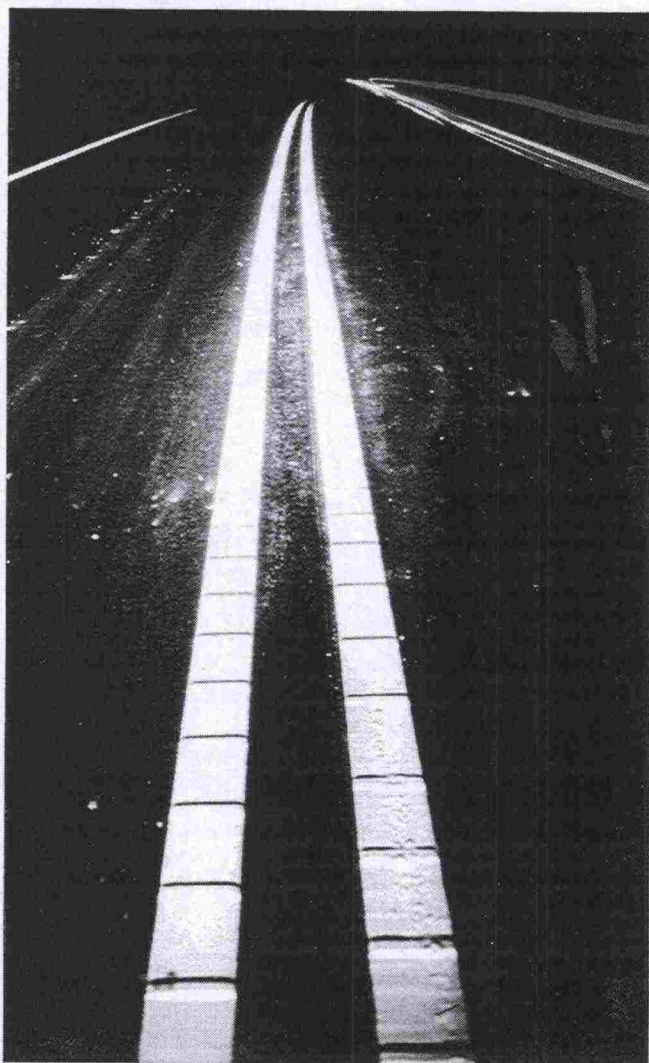
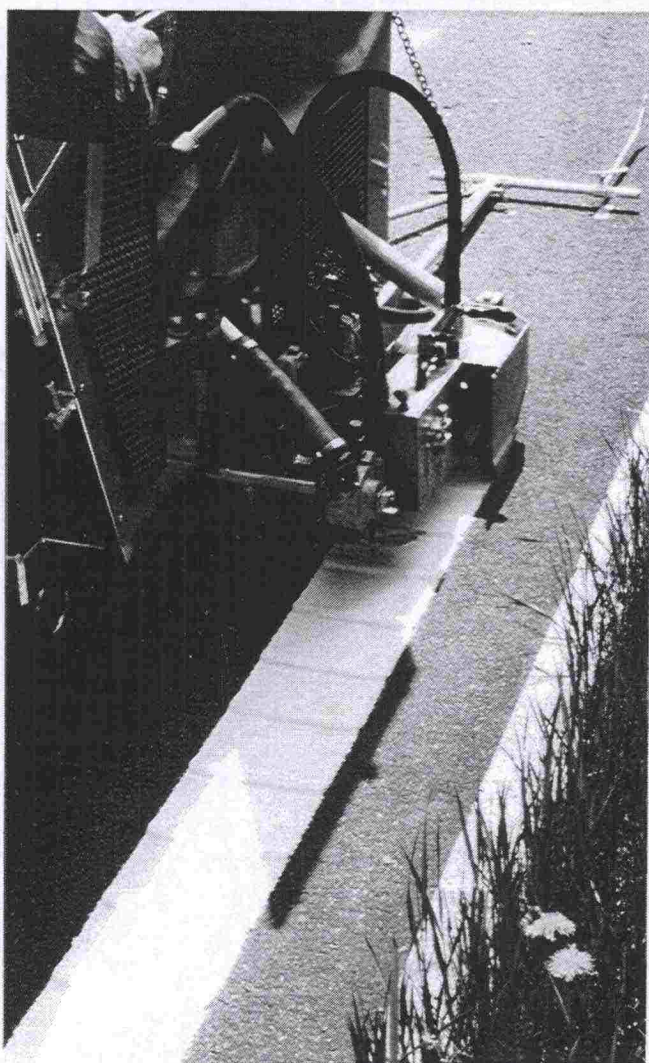
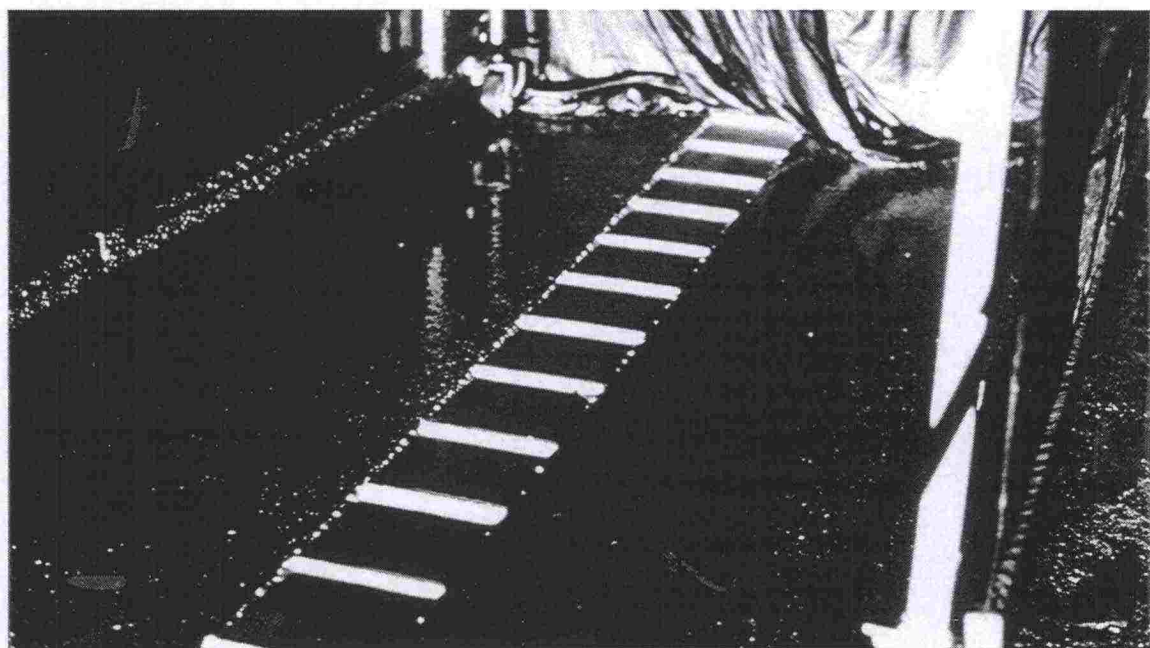
Aivan läheltä katsottuna Kamflex-merkintä voi olla huolimattomasti tehdyn näköinen, mutta sitä ei ajaessa näe. Kamflex-katkoviiva voi jäädä vajavaiseksi. Se johtuu jakolaitteen jäämisestä vaiheeseen. Vaikka jako voi jäädä paljonkin vajaaksi, sitä ei ajaessa huomaa. Esimerkinnät on suoritettava huolellisesti ja merkinnät tehtävä suoraan, sillä tämäntyyppisten merkintöjen linjassa pysymiselle silmä on tavallista herkempi.



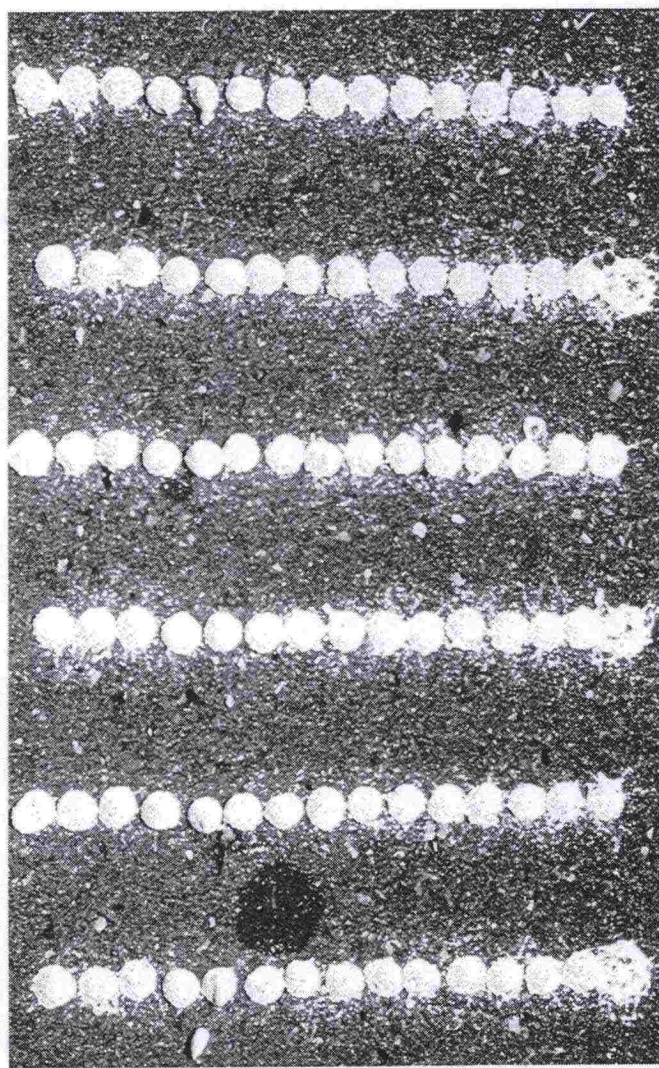
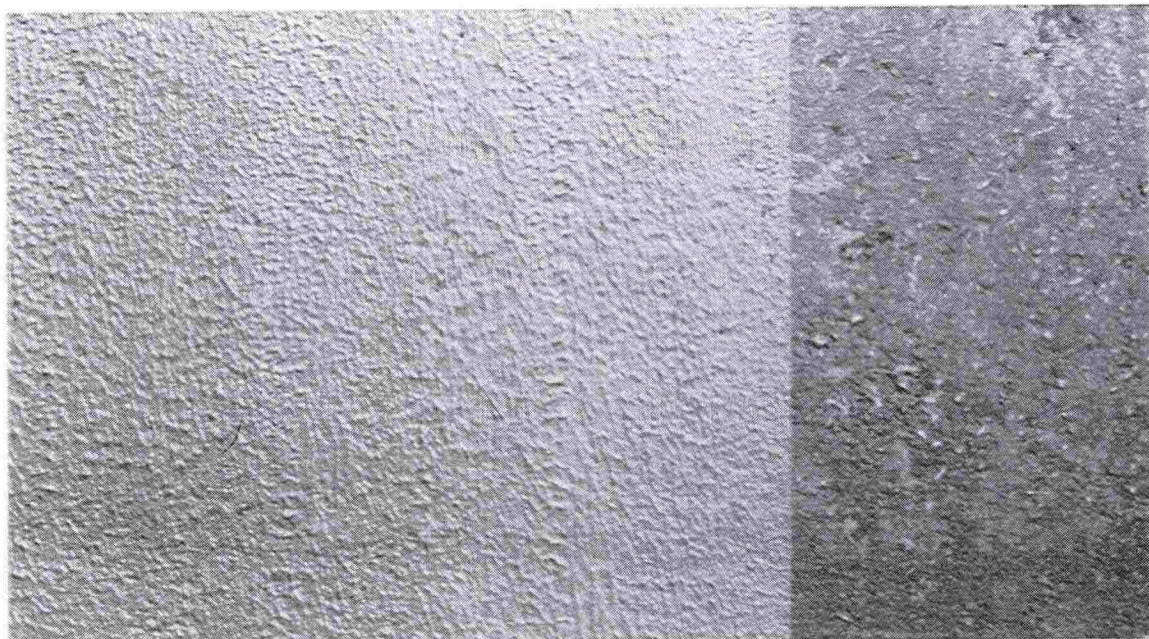
Ylhäällä: Käsini levitetyn MMA:n pinta profiloitu kampalastan avulla.

Alavasan: Valutettu Spotflex etäältä ja

Alaoikea: Sama Spotflex läheltä. Menetelmä edellyttää omaa suutinta.



Saksassa yleisesti käytetty profilointimenetelmä. Kohoke saadaan aikaiseksi joko valamalla, kuten tässä tai sijoittamalla erillinen kohoke sideaineen alle. Jälkimmäisen käyttö on nykyään erittäin harvinaista. Helmien levitys tapahtuu paineen avulla ja ne ohjataan voimakkaasti ajovalojen tulosuuntaan. Pimeällä varjot tehostavat luminanssin vaikutusta.



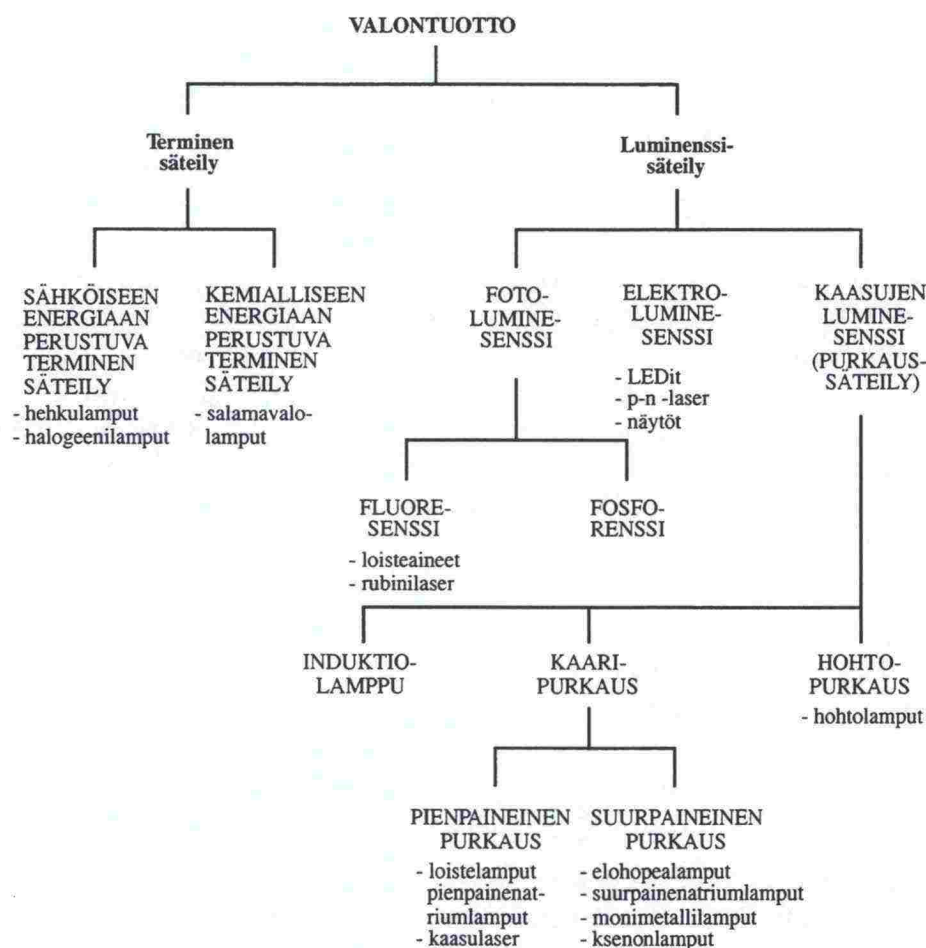
Ylhäällä: Karkealla telalla levitetty MMA.

Alhaalla: Nappimainen Spotflex. Sideaineena voi olla joko paksu 2-komponentti- tai kuumamassa. Helmiä kuluu suhteettoman paljon.

Valaisuominaisuudet

Valon lähteet

Näkyvää valoa tuottaa joko luonnolliset tai ihmisen rakentamat valonlähteet. Luonnollisia valonlähteitä ovat aurinko, salamat, revontulet ja erilaiset eläimet ja kasvit. Edellisistä tiemerkintöjen kannalta merkityksellisin on aurinko. Ihmisen rakentamista valonlähteistä valosäteily on peräisin aineesta, joita ovat hehkulanka, losteaine tai purkauslampussa täytöskaasu. Useissa tapauksissa näkyvän valon tuotos perustuu ultraviolettisäteilyyn, joka väliaineiden avulla muuntuu näkyväksi valoksi. Tiemerkintöjen kannalta keinovalonlähteet ovat auton ajovalot sekä katuvalaistus. Muiden valonlähteiden osuus tien valaistuksessa on käytännössä merkityksetöntä, mutta ei laisinkaan liikenneolosuhteiden kannalta.



Valon tuotto voidaan jakaa karkeasti kahteen säteilyluokkaan, joita ovat terminen- ja luminenssisäteily. Aurinko säteilee lämpöä. Se on terminen säteilijä ja säteilyenergia on peräisin atomien ja ionien liikkeestä. Lämpöliike saa aikaan värähtelyä kaikilla aallon pituuksilla ja siksi säteilyn spektri on jatkuvaa. Myös hehku- ja halogeenilamput ovat termisiä säteiliöitä.

Luminenssisäteily on tietyllä aallonpituudella ja spektrin osalla tapahtuvaa säteilyä, joka on voimakkaampaa kuin saman lämpötilan mukainen terminen säteily. Kaasupurkauslamppujen aallonpituus on aineeseen - kaasuihin - absorboituvan säteilyn aallonpituus. Säteily voi tällöin olla monokromaattista tai sitten spektrin taajuuksia on muutama. Tällöin puhutaan viivaspektristä. Kaasupurkauslamppujen

terminen säteily on paljon pienempää kuin termisten säteilijöiden. Sekavalolampuissa valon tuotto tapahtuu esim. kolmea eri tapaa yhdistämällä: sähköpurkauksella, loisteaineella ja termisellä säteilillä.

Termiseltä puolelta hehku- ja halogeenilamput ja luminenssipuolelta pien- ja suurpaineiset purkauslamput ovat tieliikenteen kannalta merkityksellisiä. On vain ajan kysymys, milloin jo osin BMW:ssä ja Lanciassa käytössä olevat purkauslamput yleistyvät muihinkin merkkeihin sitä mukaan, kun teknologia hyväksytään eri maiden tieliikennelainsäädännössä.

Valolähteen merkitys tiemerikintöjen kannalta

Auton ajovalot

Ajovalojen lähettämää valoa pitää tutkia polttimon ja umpion kokonaisuutena, sillä ilman umpion linssiä ja siinä olevan peilisysteemin yhdistelmää ei auton valokuvioita muodostu. Jokainen lamppu - valolähteestä riippumatta - on systeemi ja yksilöllinen merkeittäin aina mallia myöten. Lampun valokuviossa - sekä lyhyillä ja pitkällä valoilla - on voimakkaasti eriarvoisia valon voimakkuus-, jakauma- ja värilämpötilakenttiä, joiden vaikutuksesta valaistut kohteet saavat oman värisävynsä. Tästä syystä keski- ja reunaviiva voivat näyttää eri värisiltä silloin, kun viivat ovat aivan puhtaita tai uusia. Värikuvioon vaikuttaa myös umpion linssin virhe. Virhe näkyy kahdella lailla. Esim. BMW:n, Opel Calibran ja Mazda 626:n vastaan tulevat valkoiset valot näyttävät aivan kaukaa ja läheltä violetin sävyisiltä tai valo tuntuu kovin valkoiselta. Toinen, joka paljastaa linssivirheen, on Philipsin Gold -polttimot, joissa on 20% tavalliseen sekavaloa lähettävään halogeenivaloon nähden enemmän keltaista. Valoissa häilyy enemmän tai vähemmän turkoosi. Pitkillä valoilla vastaantulijalle ei turkoosi näy, vaan valot ovat puhtaan keltaiset. Kuljettajan näkökentässä sitävastoin on pieni turkoosi kenttä aivan auton edessä.

Selvitysten mukaan pimeällä tapahtuvasta ajosta puolivaloilla ajetaan 97% kokonaisajojasta. Nykyään auton valoissa pyritään kompromissiratkaisuun, jossa puolivalot ovat hyvät. Hyvyys tarkoittaa sitä, että halogeenilampun tuottama säteily kerätään mahdollisimman tehokkaasti yhteen nippuun. Seurauksena on perinteistä heikommat pitkät valot ja suuret linssivirheet. Valojen säätö on tullut vaikeaksi, koska pienikin virhe näkyy ja valot eivät tahdo pysyä säädöissään.

Kun tiemerikintöjä tarkastelee auton valolähteiden kannalta, voi vetää johtopäätöksen, että tiemerikintöjen heikkous nousee virheen neliöön, sillä helmi toimii prismana ja hajottaa läpikulkevan valon spektrin osiin. Jos valolähteessä on virhettä, kasvattaa helmi virhettä. Helmi on siis valmistettava mahdollisimman puhtaista materiaaleista, jotta se muuttaisi valoa mahdollisimman vähän.

Hehku- ja halogeenivalot

Valon kulkiessa polttimosta heijastavan helmen kautta silmään, tapahtuu häviötä 8% lasialevyä kohti sekä helmessä 4% eli silmään palaa lähtevästä helmeen kohdistuvasta valosta teoriassa 66 ... 78%. Takaisin palaava valo on kokonaisuudessaan vain miljoonasosa lähtevästä valosta.

Hehkulamppujen valovoima on heikko, mutta värintoistokyky hyvä, koska valo sisältää kaikkia spektrin värejä, joiden määrä nousee tasaisesti sinisestä punaiseen päin.

Koska halogeenivalo sisältää enemmän sinistä, näyttää sen valo valkoiselta. Siksi halogeenivalo toistaa värit valoisempina. Tämän vuoksi mm. keltaisen keskiviivan väri on valju - miltei valkoinen.

Kaasupurkausvalot

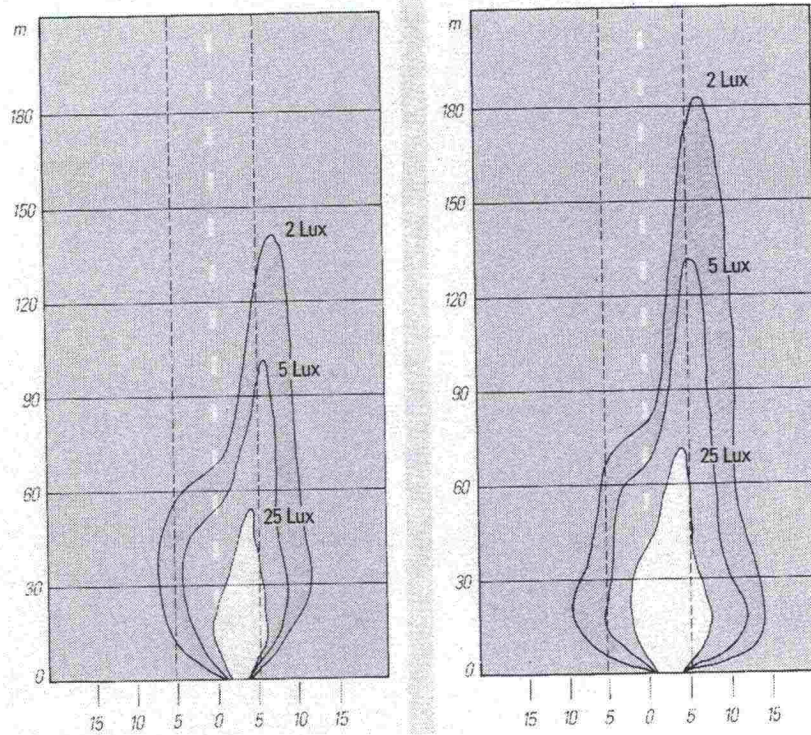
Seuraavaksi käsitellään kaasupurkauslamppuja, joita BMW ja Lancia käyttävät joissakin malleissaan Saksassa, Italiassa ja USA:ssa.

Vuoteen 1988 asti kaasupurkauslamppuja oli käytenyt yleisimmin tievaloina, mutta mm. ei ajoneuvoissa. Kesäkuussa Kööpenhaminassa 1988 allekirjoitettiin Eureka-projekti 273, joka sai nimekseen VEDILIS. Sana on lyhenne ja tulee sanoista Vehicle Discharge Light System. Projekti eteni kahdessa vaiheessa ja siihen osallistui autoteollisuuden lisäksi, polttimo- ja umpiovalmistajia. Tutkimusselvityksiä projektin loppuvaiheessa teki mm. Kåre Romar Ruotsista - yksi maailman johtavia liikennepsykologeja. Hän tutki erilaisia kaasupurkauslamppujen liikenteelle mahdollisesti aiheuttamia häikäisyjä. Projekti saatiin päätökseen vuonna 1992.

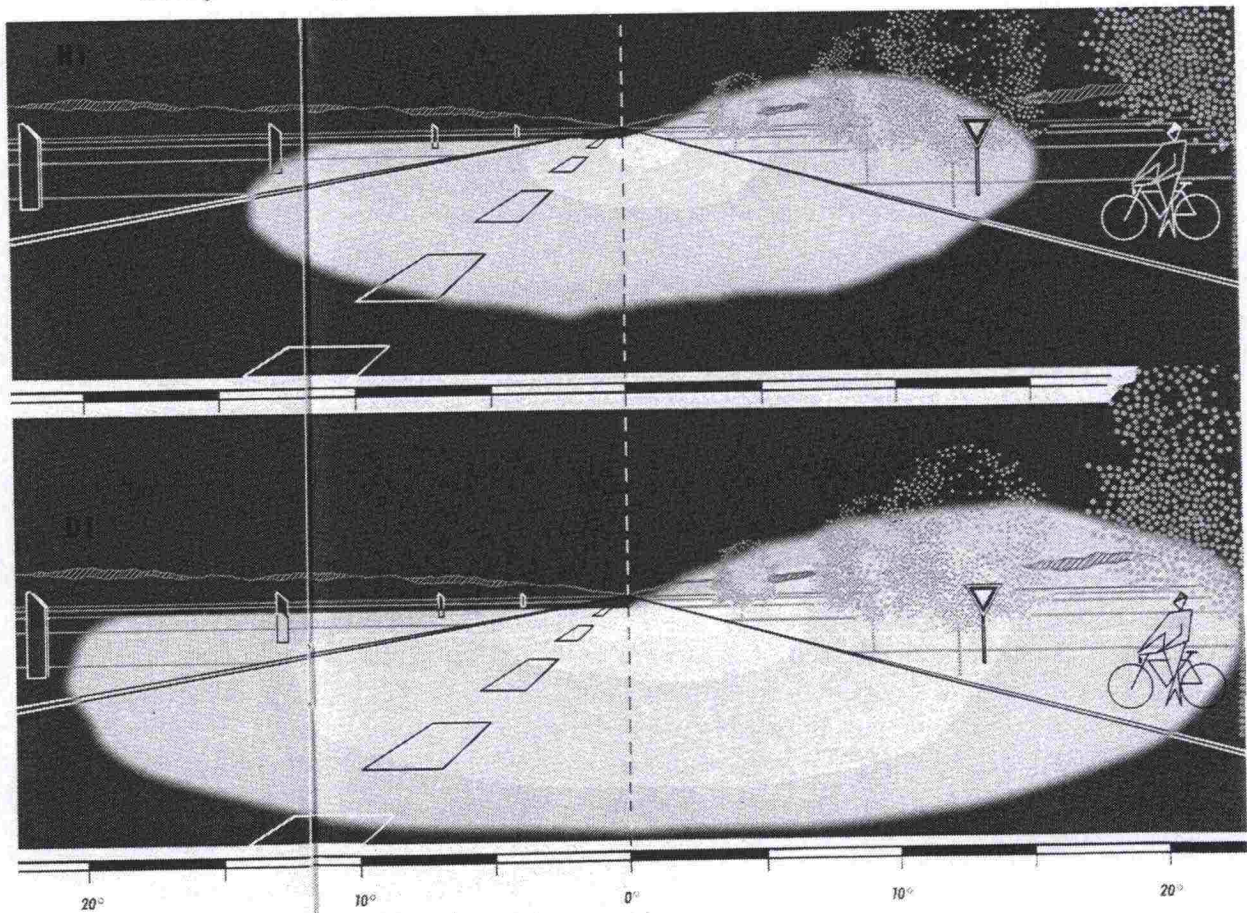
Projektin tarkoituksena oli kehittää mm. kaasupurkauslampputeknologia, jota voidaan käyttää henkilöautoissa. Tavoitteina oli saada enemmän valoa tien päälle vähemmällä energian kulutuksella ja ilmanvastuksella. Lamppujen tuli mahdollistaa auton virtaviivainen muotoilu. Projekti, jonka aikana kehitettiin 3 sukupolvea edustavaa poltinta, onnistui tavoitteissaan. Kenttäkokeita varten eri valmistajien autoja varustettiin mainituin valoin ja tulokset olivat hyviä. Häikäisy saatiin hallintaan ja näkyvyys parani huomattavasti. Koeajajat 3. loppuraporttiehdotuksen mukaan ylistivät valojen erinomaisuutta mutkaisilla tieosuuksilla sekä silloin, kun tien pinta oli märkä.

Koeajajien mielestä liikennemerkkien värit näkyivät halogeenivaloja selvemmin, mutta asiaa epäiltiin projektin puitteissa, koska kaasupurkauslamppujen valo on kylmän valkoista. Siksi käynnistettiin alaprojekti, jonka tehtävänä oli selvittää mm. liikennemerkkien ja heijastimien heijastuvuutta. Tutkimus tehtiin Italiassa.

Staattisessa kokeessa vertailtiin sekä halogeeni- ja kaasupurkauslamppuja samalla valon voimakkuudella. Jotta olisi päässyt oikeiden vastausten määrässä ja luotettavuudessa samalle tasolle halogeenivalon kanssa, tuli kaasupurkauslamppujen voimakkuutta nostaa 70%. Ennen voimakkuuden nostamista värit kylläkin olivat poikkeuksetta tunnistettavissa. Oleellista oli, että havaittiin värien näyttävän jonkin verran erilaisilta kaasupurkauslamppujen valossa kuin halogeenilamppujen. Oletamus, että kaasupurkauksesta miltei kokonaan puuttuva punaisen aallonpituus vaikuttaa värien tunnistettavuuteen, piti paikkansa. Saatiin myös selville, että dynaamisissa kokeissa heikkoon värien tunnistettavuuteen vaikutti valon voimakkuus lähietäisyydellä. Näistä tuloksista vedettiin se johtopäätös, että havaittavuuteen vaikuttavat kontrastit ja tunnistettavuuteen vaikuttaa silmän sopeutumistaso.



Yllä vasemmalla halogeeni- ja oikealla kaasupurkauslamppujen puolivalojen valokuviot. Alla vastaavat valot ajajan silmin. H1 = halogeeni- ja D1 kaasupurkauslamppujen valot. Pystykatkoviiva kuvaa ajajan näkökentän keskikohtaa. Katkoviivan vasemmalla puolella oleva yhtenäinen pystyviiva ei liity kuvaan.



Näillä olettamuksilla voitiin myös tehdä johtopäätös, että liikennemerkkien värit ja heijastimet tunnistetaan kummassakin valossa oikein. Heijastimien paluueijastuvuus oli kaasupurkauslampun valossa häiritsevän voimakas verrattuna halogeenilampun vastaavaan. Käytännössä kaasupurkauslamppuja ei tulla rakentamaan 70% korkeammilla valon voimakkuusarvoilla, vaan pidättäydytään alkuperäisessä suunnitelmassa.

Tämän tutkimuksen tuloksissa on huomioitava seuraavat seikat: tiemerikintöjä ei otetu huomioon ja että Italiassa ei käytetä keltaista tiemerikintää. Jos otetaan huomioon VEDILIS:n tutkimustulokset ja pohjoismaiset kokemukset keltaisesta merkinnästä, voi helposti vetää johtopäätöksen, että keltainen merkintä ei näy keltaisena, vaan enemmän valkoisena kuin miltä ne nyt näyttää halogeenilampun valossa. Kaasupurkasulampun valossa keltaisen tunnistettavuus heikkenee halogeenilampun valoon verrattuna, koska voimakkaampaa valotasoa ei toteuteta.

UV-valot

Ruotsissa on kehitetty UV-lamppuja, joiden tarkoituksena on parantaa tiellä tai sen laidassa olevien vieraiden esineiden ja kevyen liikenteen kulkijoiden havitsemista paljon ennen kuin ne tulevat tavallisten ajovalojen piiriin. Tuotekehitystä vetää Ruotsissa Ultralux, jonka omistaa yhdessä Volvo, Saab-Scania, Athena ja Labino.

Kehitysprojektissa on mukana myös ulkopuolisia, joista yksi on Ruotsin tielaitos ja Cleanosol tiemerikintämassojen valmistajana ja kehittäjänä. Tiemerikintäpuolella edellämainittujen välinen yhteistyö on saumatonta ja tuloksekasta.

Ultravioletivalot (UV-valot) perustuvat täsmälleen edellä kuvattuun kaasupurkausteknologiaan. Ainoana erona on valon lähde. Se säteilee ilman minkäänlaisia suodattimia UV-alueen aallonpituuksia. Umpiossa olevien suodattimien ansiosta haitallinen UV-säteily on saatu laskemaan tavallisia halogeenivaloja alemmalle tasolle ja valo näyttää päivällä vastaantulijan silmissä utuisen syvän siniseltä. Valo ei ole voimakas eikä häikäse. Sitä ei näe, mutta sen havaitsee. Katseen kiinnittäminen lamppuun on erittäin vaikeaa, koska kiintopistettä on vaikea hahmottaa tai tajuta.

Kuljettajalle valo ei näy. Kohde, jonka valo saa säteilemään, säteilee voimakkaasti sinisävyisenä. Tuntuman asiaan voi saada diskossa, jossa käytetään UV-valoa tehosteena. Vain valkoinen paita hohtaa valkoisena. UV-valoa varten on kehitetty omia väriaineita ja materiaaleja, joissa värit hohtavat puhtaina. Puhutaan ns. shokkiväreistä.

UV-valo kantaa kolme kertaa pitemmälle kuin näkyvä valo. Se ei taitu vedessä samalla tavalla kuin näkyvä valo ja siksi tiemerikintä näkyy vesikalvon läpi. UV-valoa ei tarvitse liioin suunnata alas, joten se näyttää pitkälle ja korkealle. Myös lumisateen UV-valo läpäisee eikä muodosta varjoja tai häikäisyä. Tiemerikinnällä on näinollen mahdollisuus näkyä ohuen lumipeitteen alta.

UV-valoa käytettäessä ei ole laisinkaan kyse samoista valoon liittyvistä asioista kuin mitä näkyvän valon kohdalla on. Näkyvä valo valaisee kohteen, mutta UV-valo saa kohteen hehkumaan eli UV aktivoi kohteen pinnan. Hehkuvia kohteita ei voida arvostaa ja mitata tiemerikintöjen mittaamisessa käytettävillä optisilla mittareilla.



Esimmäisessä kuvassa kummallakin on puolivalot. Seuraavassa vastaantulijalla on tavalliset puolivalot ja menevällä puolivalojen lisäksi UV-valot.

Tiemerkinnöissä on käytetty fluorisoivia aineita, joilla merkintämassa on saatu hehkumaan. Myös helmet hehkuvat erikseen ja se ei johdu merkintämassan hehkumisesta. Tiemerikinnät näkyvät sinertävinä niin pitkälle, kuin UV-valo jaksaa kantaa. Tavallinen tiemerikintä ja muut näkyvälle valolle suunnitellut merkit ja vastaavat eivät hohda UV-valossa. On esitetty epäily, että tuulilasi saattaa hohtaa,

mutta tätä ei olla laajemmin tutkittu. Sama saattaa olla tilanne joillakin muovikalvoilla. Silmälaseissa käytetään muovikalvoja heijastuksen ja iskun kestävyuden parantamiseksi. Käytännössä kenttätutkimukset ovat osittain vaillinaisia ja kesken, joten johtopäätösten teko vielä tässä vaiheessa on aivan liian aikaista. Yleisesti ottaen UV-valoilla voidaan odottaa paljon. Tulokset ovat todella rohkaisevia.

Ajovalojen ja tiemerikintöjen keskinäinen tulevaisuus

Ajovalojen ongelmana on jo nyt valojen suuntaaminen oikein niin, että häikäisyä ei pääsisi syntymään. Ongelman merkitys tulee korostumaan. Tieteen tehtävänä on tutkia mitä häikäisy on, miten luminanssi ja valon voimakkuus sekä valolle altistumisaika vaikuttavat kokonaishäikäisyyn. Häikäisystä tiedetään hyvin vähän ja siksi se on erittäin voimakkaan tutkimuksen alaisena kaikkialla maailmassa.

Nykyään puolivalojen tulee toimia kaikissa olosuhteissa kuten erilaisilla teillä, sateella, ympäristön valaistusolosuhteissa, ajoneuvon asennossa (jousitus), jne. Pitkien valojen käyttömäärä vähenee jatkuvasti. Jo nyt pimeällä tapahtuvasta kokonaisuajajasta käytetään puolivaloja noin 97%.

Osoitus merkittävästä muutoksesta on nähtävissä UV-valoprojektissa, jossa autoteollisuus on edesauttanut tiemerikintöjen kehittämistä. Suurempien kokonaisuusien ymmärtäminen ja prosessissa olevien osapuolien yhteisvaikutus tulee merkitsemään suuria läpimurtoja. Yhteiskuntarakentaminen ja ympäristöön vaikuttaminen on varmaankin ratkaisevinta teknologisessa kehityksessä ja sen hyväksikäytössä. Vastaavasti tiemerikintäalan tulee kehittyä tässä ympäristössä. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että kun kaasupurkauslamput yleistyvät ja valoteho teillä kasvaa. Kun jo nyt liikennemerkkit ja tiemerikinnät ovat valoon liittyvissä asioissa epätasa-arvoisessa asemassa kaikin puolin, on sanomattakin selvää, että lenkki katkeaa heikoimmasta kohdasta ja se on tiemerikintä. Tiemerikintöjen tulee kehittyä samassa suhteessa ympäristönsä kanssa. On oleellista ymmärtää, että ajoneuvojen valot ovat keskeisin tekijä tiemerikintöjen kohdalla.

Katu- ja tievalot

Elohopealamput lähettävät sinistä valoa ja niiltä puuttuu lähes kokonaan punaisen allonpituus. Asiaa on korjattu käytettävillä loisteaineilla, jotka resonoivat UV-valon kanssa. Näin elohopealamputa on saatu suhteellisen hyvin värejä toistavia. Valontuotto on natriumlamppuihin nähden pienempi.

Suurpainenatriumlamput ovat kaasupurkauslamppuja. Niiden valontuottokyky on hyvä ja spektrin allonpituuksia ne pystyvät tuottamaan suhteellisen laajasti niin, että keltaisen osuus on erittäin merkittävä. Suurpainenatriumlamppuja käytetään tievalaistukseen. Ne tunnistaa vaalean keltaisesta väristä. Kaasuseoksesta riippuen niiden värintoistokyky on suhteellisen hyvä.

Pienpainenatriumlamput ovat nekin kaasupurkauslamppuja.

Pienpainenatriumlamppu tuottaa käytännössä monokromaattista valo. Sillä on käytännössä vain yksi aaltoalue, jota se säteilee: 589 nm:n allonpituudella. Lampun tunnistaa syvän keltaisesta väristä. Lampun ikävin puoli on sen heikko värintoistokyky ja mm. pelastusviranomaiset eivät pidä niistä laisinkaan, sillä valossa ei katsomalla erota toisistaan bensaa, öljyä tai verta.

Elohopealampun valossa tiemerikinnät näyttävät miltei siltä mitä pitääkin. Ainoana ongelmana on lamppujen heikko valoteho ja siitä johtuva huono näkyvyys.

Suurpainenatriumlamppujen valossa tiemerikinnät voi tunnistaa valkoisiksi, mutta keltaisen merkinnän havaitseminen tuottaa jo vaikeuksia.

Pienpainenatriumlampun valossa kaikki merkinnät näyttävät keltaisilta.

Valon fysiikasta

Liitteessä 4 on käsitelty valon fysiikkaa, eli perussuureita, valon heijastumista ja läpäisyä, paluuheijastuvuutta, kontrasteja, luminanssia ja värioppia.

Mittaaminen

Mittausjärjestelmän laatua kuvataan sen tilastollisilla ominaisuuksilla. Mittaaminen tapahtuu mittauksen kannalta monimuotoisessa ympäristössä, jossa helposti syyt ja seuraukset sekoittuvat keskenään. Yksi maailman vaikeimmista tehtävistä on selvittää, mikä on syy ja mikä seuraus. Käsitykseen siitä, millainen mittausjärjestelmä on, vaikuttavat mm. kustannukset, helppo käytettävyys, ymmärrettävyys, tietojen jatkojalostus, yleinen käsitys mittaustuloksista, mutta ne eivät kuvaa itse mittauksen laatua.

Mittauksen laatu on "sisäsyntyistä". Vaikka yksittäiseltä mittaukselta tai sarjalta saatetaan vaatia joitakin erityisiä tilastollisia ominaisuuksia, on jokaisen järjestelmän täytettävä *tietty* tilastolliset ominaisuudet, joita ovat:

1. Mittausjärjestelmän tulee olla tilastollisesti hallinnassa, joka tarkoittaa, että järjestelmän vaihtelu johtuu ainoastaan yleisistä virhesyistä eli itsestään. Erityisvirheitä ei saa esiintyä, kuten väärä valonlähde, suodatin, probe, iskun aiheuttama siirtymä, jne.
2. Mittausjärjestelmän hajonnan tulee olla pieni verrattuna mitattavan kohteen tuotannossa olevaan luonnolliseen hajontaan.
3. Mittausjärjestelmän hajonnan tulee olla pieni verrattuna vaihteluväliin.
4. Mittaustarkkuuden tulee olla pieni verrattuna tuotannon hajontaan ja/tai vaihteluväliin. Nyrkkisääntönä on, että mittarin tulisi olla kymmenyksen tarkempi kuin mitattavan kohteen sallittu vaihteluväli. Esim. sallittu vaihteluväli on 300 μ , jolloin tarkkuuden tulee olla 30 μ .
5. Mittausjärjestelmän tilastolliset ominaisuudet saattavat vaihdella, kun mitattavia kohteita vaihdetaan. Jos näin on, niin silloin huonoimman havaintosarjan hajonnan tulee olla pieni verrattuna esim. tuotannon hajontaan tai vaihteluväliin. Tällöin valitaan näistä kahdesta se, joka on pienempi.

Määritelmät

- Mittauslaite: on mikä tahansa laite, jolla tehdään mittauksia.
- Mittausjärjestelmä: on toimintojen, ohjeiden, mittauslaitteiden ja mihin tahansa mittaukseen liittyvän kaluston, tilojen, ohjelmistojen ja mittajien muodostama kokonaisuus.
- Mittaja: on henkilö tai ryhmä, joka mittaa ja kuuluu mittausjärjestelmään.
- Vaihteluväli: on se alue, jonka alueella luonnollinen huojunta on sallittua, mutta rajojen ylitykset ei. Perinteisen ajattelutavan mukaan toleranssi on vaihteluväli. Ongelma on, että toleranssilla ei ole mitään tekemistä tuotannossa tapahtuvan luonnollisen vaihtelun kanssa. Siksi jatkossa käytetään termiä *vaihteluväli*. Sallittu vaihteluväli on se vaihtelu, jonka ylitys aiheuttaa toimenpiteitä. Luonnollinen vaihteluväli on pohjakohinaa.

- Toistettavuus:** on mittauslaitteen kyky toistaa saamaa lukemaa, kun sama mittaaja mittaa useamman kerran samaa kappaletta. Toistettavuus on mitta, joka osoittaa mitattujen tulosten hajonnan. Se sisältää itse mittauslaitteen hajonnan sekä mittaajan mittaustekniikasta johtuvan hajonnan.
- Uusittavuus:** on mittaustulosten keskiarvojen vaihtelu, kun eri mittaajat mittaavat samalla mittauslaitteella samaa kappaletta.

Analysointimenetelmät

Mittausjärjestelmän analysointi voidaan tehdä monella eri tavalla, joista tässä kuvataan kaksi. Ensimmäin on vaihtelu (Range) ja toinen on keskiarvo ja vaihtelu (Average & Range). Analyysissä nämä menetelmät eivät pysty erottamaan kappaleen sisäistä hajontaa, joka sinänsä on valittavaa, sillä analyysissä tämä on huomioitava ja järjestelyt on tehtävä niin, että ongelma ei pääse häiritsemään tulosta.

Edellä mainitusta syystä on syytä selvittää käytettyjen kappaleiden sisäinen hajonta ennen testin aloittamista. Jos siihen ei ole mahdollisuutta, joka on mieluummin sääntö kuin poikkeus tiemerkintäasioissa, voidaan kappaleeseen laittaa merkki tai rakennettava jigi, jotta mittaus voidaan suorittaa samasta kohdasta. Näin voidaan välttää kappaleen sisäisen hajonnan vaikutus mittauslaitteen toistettavuuteen. Voi olla, että Trögerin kohdalla järjestely ei välttämättä onnistu.

Vaihtelu-menetelmä (Range)

Vaihtelu-menetelmä on testi, jolla mitataan itse mittalaite. Menetelmällä saadaan nopea arvio mittauksen hajonnasta ja kertoo vain mittaustapahtuman kokonaishajonnan. Se ei erottele hajontaa mittauslaitteen toistettavuuteen ja mittaustapahtuman uusittavuuteen. Sitä varten on erikseen keskiarvo ja vaihtelu-menetelmä. Tämä menetelmä soveltuu yksinkertaisuutensa vuoksi mihinkä tahansa kentällä tapahtuvaan mittaukseen.

Vaihtelu-menetelmässä käytetään kahta mittaajaa ja viittä kappaletta. Molemmat mittaajat mittaavat jokaisen kappaleen vain yhden kerran. Kunkin kappaleen vaihtelu R on mittaajan A ja mittaajan B mittaustulosten erotus. Vaihtelujen summa ja keskiarvo saadaan laskemalla. Mittaustapahtuman kokonaisvaihtelu saadaan selville kertomalla vaihtelun keskiarvo vakiolla, jota varten on olemassa omat taulukot. Taulukoita tarvitaan, jos poiketaan asetelmasta kaksi mittaajaa ja viisi mitattavaa. Muuten käytetään hajonnan estimaattia varten vakiota 4,33.

Mittaustapahtuman kokonaisvaihtelu ilmoitetaan joko prosentteina sallitusta tai vaihtelusta. Seuraava esimerkki valaiskoon asiaa:

Sallittu vaihteluväli merkinnän leveydelle on ± 5 mm, joka on Uudenmaan tiepiirin pienurakkasopimuksen puitteissa tapahtuva massamerkintäurakan "toleranssi". Mittaukseen valitaan 5 rajattua kohtaa merkinnästä. Mittaajan mittaamisessa tapahtuva erehtymisen vaara on järjestelyillä ja opastuksella saava mahdollisimman pieneksi. Toinen tapa on valita mittaushaasteet satunnaisesti, jolloin selvitetään sallitun vaihtelun perusteita.

Kohta	Mittaja A	Mittaja B	Vaihtelu (A-B)
1	0,85	0,80	0,05
2	0,75	0,70	0,05
3	1,00	0,95	0,05
4	0,45	0,55	0,10
5	0,50	0,60	0,10

Vaihtelun keskiarvo (R) = $(0,05 + 0,05 + 0,05 + 0,10 + 0,10) / 5 = 0,07$

Sijoitetaan kaavaan $4,33 * (R)$ edellä saatu tulos $\Rightarrow 4,33 * 0,007 = 0,303$

Sijoitetaan kaavaan $\%R/R = 100 * (R/R / \text{Sallittu vaihtelu}) \Rightarrow$
 $100 * (0,303 / 1,0) = 30,3\%$

Mikäli tämän mittauslaitetestin $\%R/R$ on suurempi kuin 20%, on syytä suorittaa mittauslaitteen kunnostus. Tässä tapauksessa tulos on hyväksyttävissä riippuen sovelluksen tärkeydestä. Tiemerikintöjen kohdalla kannattaa harkita sallitun vaihteluvälin kriteerien tarkistamista, koska kukaan vielä toistaiseksi ei tiedä mikä on ekstruuderileivityksessä viivan leveydessä tapahtuva luonnollinen vaihtelu, oli materiaali sitten mikä tahansa.

Jos kyseessä olisi ollut joko luminanssi tai paluuheijastavuusmittaus, olisi mittarin puhtaus tullut tarkistaa, suorittaa kalibrointi ja tarkistaa mittajien taito laitteen käytössä ja mittauksen suorittamisessa. Mitä suurempi $\%R/R$ on sitä varmemmin mittaukseen vaikuttaa muut seikat kuin mitattava kohde.

Keskiarvo ja vaihtelu -menetelmä (Average & Range)

Keskiarvo ja vaihtelu -menetelmä erottaa mittalaitteen toistettavuuden ja mittaustapahtuman uusittavuuden.

Jos toistettavuus on suuri verrattun uusittavuuteen, saattaa syynä olla:

1. laitteen huollon tarve
2. laite ei ole tarpeeksi tukeva (esim. kitkamittari on hyvin hankala kentällä)
3. mittauspaikka on epäsuotuisa
4. mitattavien kappaleiden sisäinen hajonta on suuri

Mikäli uusittavuus on suuri verrattuna toistettavuuteen, saattaa syynä olla:

1. mittajan koulutus ja kyky lukea mittalaitetta
2. mittalaitteen asteikko
3. mittaustapahtuman epämääräisyys

Vaikka mittajien, kappaleiden ja mittauskertojen määrät voivat vaihdella, suositellaan käytettäväksi kolmea mittajaa, 10 mitattavaa kappaletta ja kolmea mittauskertaa. Seuraavassa on kuvattuna tapahtumajärjestys:

Valitaan satunnaisesti henkilöt, jotka ovat testattavan mittauksen kanssa tekemisissä ja annetaan heille tunnukset A, B ja C. Kappaleet numeroidaan yhdestä kymmeneen, mutta mittajat eivät missään tapauksessa saa nähdä numeroita. Jos numeroiden näkemistä ei voida välttää, on numerot oltava poistettavissa ja kirjoitettavissa uudelleen. Tällöin mittauksen ohjaajien tulee tietää alkuperäinen järjestys ja sitä varten on oltava numeroinnin kulkukartta.

Mittalaite kalibroidaan, jos se vain on mahdollista. Pääasia on, että mittauksen aikana mittalaite ei saa ryömiä eikä kappaleen ominaisuudet saa muuttua.

Mittaja A mittaa 10 kappaletta hänen kannalta satunnaisessa järjestyksessä, mutta mittauksen ohjaus pitää järjestyksestä kirjaa. Mittaajat B ja C mittaavat tämän jälkeen samat kappaleet ohjauksen pitäessä kirjaa tapahtumasta. Mittauksen aikana mittaajat eivät saa olla yhteydessä toisiinsa missään vaiheessa.

Mittaukset toistetaan ja kappaleiden järjestys vaihdetaan. Mittaajat eivät saa tietää järjestyksen vaihtumisesta.

Askeleet 3 ja 4 voidaan vaihtoehtoisesti toteuttaa siten, että mittaajat mittaa peräkkäin saman kappaleen. Tällöinkin he eivät saa olla tekemisissä toistensa kanssa. Toistot tehdään samalla tavalla. Tämän tyyppisiin järjestelyihin joudutaan esim. vuorotyön tai suurten kappaleiden takia tai siksi, että kappaleita syntyy harvaksen.

Mittaustulokset voidaan analysoida ns. valvontakortilla, jossa esitetään yksittäisten mittaustulosten hajonta valitusta viitearvosta. Tulokset lasketaan seuraavasti:

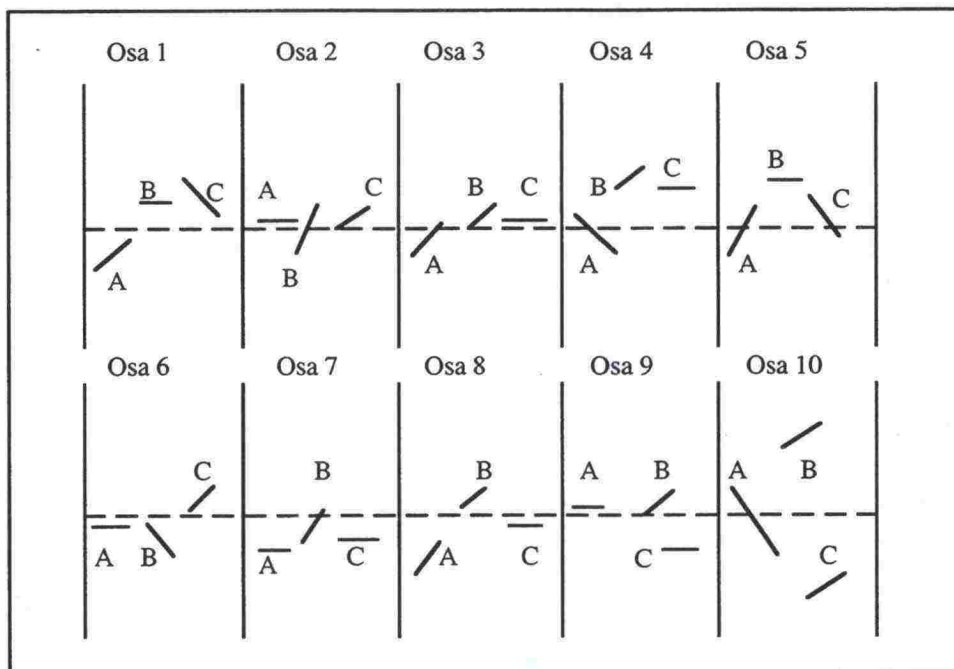
$$\text{Hajonta} = \text{Tosimitta} - \text{Mitattu tulos}$$

tai:

$$\text{Hajonta} = \text{Mittaustulosten keskiarvo} - \text{Mitattu tulos}$$

Jos tosimittaa ei ole, käytetään viimeistä laskentatapaa.

Analysointia varten tulokset kirjataan joko mittaus- tai valvontakortille. Mittauskortista voidaan havaita tulosten järjestelmällisyys, esim. kuka mittaa miten eli minkä tyyppisiä tuloksia tietyt mittaajat saavat. Osaako mittaajat mitata.



Kuvasta voidaan nähdä, että mittaajan B tulokset ja keskiarvo poikkeavat säilytyksellään A:n ja C:n tuloksista ja kukaan ei osaa mitata kunnolla kappaletta 10.

Seuraavassa mittalaitteen hyväksymisrajat seurauksineen:

1. $R/R < 10\%$ Mittausjärjestelmä on kunnossa
2. $R/R 10 \dots 30\%$ Hyväksyttävissä mittauksen tärkeydestä, mittalaitteen hinnasta, kalibrointikustannuksista ja korjauskustannuksista
3. $R/R > 30\%$ Mittausjärjestelmää täytyy parantaa, koska selviä ongelmia esiintyy. Ne tulee selvittää ja korjata.

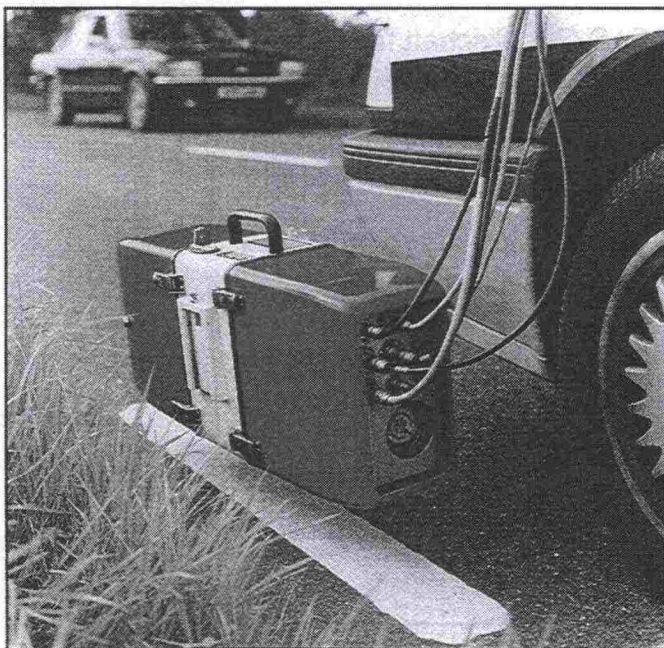
Kenttämittaukset

Kenttämittauksissa voidaan suorittaa minkä tahansa mittarin luotettavuuden testaus. Käyttökelpoisin on edellisen kappaleen ensiksi kuvattu vaihtelumenetelmä. Aikaa siihen kuluu noin 15 minuuttia.

Laadunvalvonta

Kenttätoiminnassa tapahtuva silmämääräinen laadun valvonta on tiemerkinnoille asetettuihin laatuvaatimuksiin nähden mahdotonta. Ensin on kuitenkin merkinnän laadun takaamiseksi valvottava, että työskentelyolosuhteet täyttävät vaatimukset ainakin tien pinnan olosuhteiden osalta. Mittaukset tulee suorittaa mahdollisimman pian levityksen jälkeen, jotta työvirheiden korjaamistoimenpiteisiin voitaisiin ryhtyä mahdollisimman nopeasti. Toisaalta mittaushetkellä merkinnän epästabiili tila voi johtaa tuloksien tulkinnassa harhaan.

Merkinnän paksuus mitataan joko mittauskellolla kuivasta merkinnästä tai periaatteessa tikulla, kun merkintä on märkä. Mittauskello on suhteellisen tarkka, mutta sen käyttöä tulee harjoitella, jotta mittausvirheet voidaan hallita. Mittatikku on liian karkea ja sillä ei saada lähellekään oikeaa arvoa merkinnän paksuuden mittauksessa, koska se ei ole oikeassa suhteessa mitattavaan kohteeseen nähden.



Ranskalaisella mittarilla kartoitetaan annetun tieosuuden kaikkien tiemerkinntöjen tilanne. Raportointi tapahtuu mitatun osuuden visualisointina. Järjestelmä piirtää valaisuominaisuuksien profiilin.

Osa mittausmenetelmään liittyvien mittausvirheiden välttämiseksi mittaustapa ja -välineet tulisi valita sellaisiksi, että ihmisen aiheuttama vaihtelun vaikutus tulisi vaimennetuksi. Yksi tällainen työkalu on liukuva mittaus, jossa mittaaminen tapahtuu jatkuvana prosessina.

Paluuheijastavuus voidaan mitata miltei heti, mutta ongelmaksi muodostuvat irtohelmet ja/tai liian paksu helmikerros ja materiaalin kuivumisessa tapahtuvat värimuutokset. Näissä tapauksissa tulos on epätosi, joten saadut arvot on mielletävä ohjeellisiksi.

Valo-opillisissa mittauksissa (paluuheijastavuus ja luminassi) alustan muodolla ja karkeudella, ilman lämpötilalla ja kosteudella sekä vallitsevalla valolla on suuri merkitys. Kumpakaan mittaria käytettäessä käyttäjän tulee olla hyvin koulutettu ja ohjeistus tulee olla huolellisesti laadittu. Jos näin ei ole, ei laatuun liittyvä reklamointi ole perusteltu. Mittaustapa ja -menetelmät tulee olla tunnistettavissa.

Ennenkuin laadunvalvontaa voidaan kenttäolosuhteissa toteuttaa, tulee tuotteista yksilöittäin ja merkinnän levitysprosessista tietää hyvin paljon enemmän kuin mitä tänä päivänä tiedetään. Tiedon keruun tulee olla analyttistä, jonka perusteella voidaan saada käsitys siitä, miten vaihtelu ilmenee käytännössä. Ennenkuin tähän osaamisen tasoon ollaan päästy, on monta vuotta kulunut lähdöstä. Tietysti voidaan jakaa merkintä hyvään ja huonoon asetettujen toleranssien mukaan, mutta valitettavasti toleranssit ovat insinöörien keksimiä suureita, joiden mukaan lopputulos joko hyväksytään tai hylätään. Toleranssia ei voida käyttää prosessin ohjaamiseen eikä se anna suoraa palautetta työn tekijälle.

Jos tuotteen ja prosessin luonnollinen vaihteluväli on tiedossa ja prosessi jotakuinkin hallinnassa, voidaan laadunvalvontaa lähteä suorittamaan ns. valvontakorteilla. Valvontakortit ovat yksi laatujohtamisen menetelmä. Korteilla pyritään prosesseista otetuilla näytteillä tutkimaan, onko prosessi hallinnassa vai ei. Valvontakortin soveltamisen kannalta on perusolettamus, että on olemassa vain yksi perusjoukko. Kun perusjoukosta otetaan näytteitä ajan tai matkan funktiona, voidaan näytteistä laskettujen arvioiden pohjalta päätellä prosessin tila ja sen säätötarve.

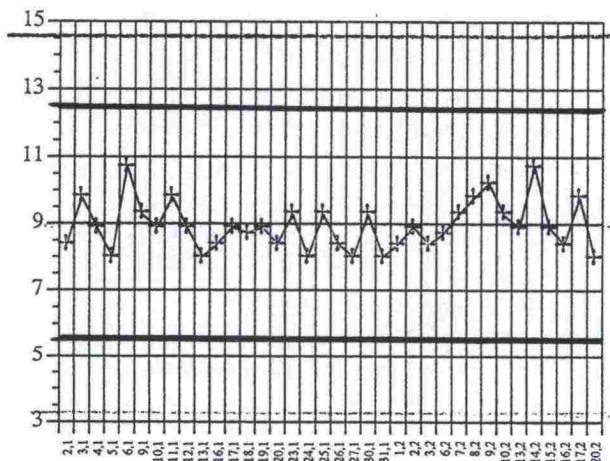
Niin kauan kuin prosessi pysyy "muuttumattomana", otosten keskiarvot ja vaihteluvälit heilahtelevat odotetulla tavalla eli luonnollisen vaihteluvälin sisällä. Sanotaan, että prosessi on valvontarajojen välissä. Kun prosessissa tapahtuu itsestään muutos huonompaan, se näkyy valvontarajojen ylityksenä.

Valvontakortissa on aina keskiviiva kuvaamassa luonnollista keskiarvoa ja kaksi valvontarajaa molemmiin puolin. Kumpikin valvontaraja on kolmen sigman päässä keskiviivasta, joten luonnollinen vaihteluväli on kuusi sigmaa.

Ideana on se, että jos yksikin mittauksen iskeytymä on valvontarajan ulkopuolella, prosessissa on tapahtunut häiriö. Kortista voidaan myös havaita tuleva muutos, joka ilmenee trendinä tai jaksottaisena vaihteluna.

Kortti muodostetaan siten, että näytteiden keskiarvoista lasketaan keskiarvo. Sitten lasketaan jokaisen näytteen vaihteluvälistä keskiarvo. Näin saatuja tietoja hyväksikäyttäen lasketaan ylä- ja alavalvontaraja.

Perustetaan ns. X-valvonta, jolla seurataan keskiarvojen liikkumista näyteryhmässä. Keskiarvoja seuraamalla nähdään miten prosessiin vaikuttavat tehdyt säädöt, kuten paine, suulakkeen korkeus, lämpötila, jne. Tällä nähdään, miten prosessi "ajelehtii".



X-R -kortin X-osa, eli keskiarvojen keskiarvon seuranta. Pystyakselilla on mittauksen tulos ja ala-akselilla päivämäärä.

Perustetaan ns. R-valvonta, jolla seurataan näytteiden hajonnan keskiarvoja. Hajonta paljastaa prosessin suorituskäytössä tapahtuvat muutokset. Kun R-valvonnassa tapahtuu muutoksia tai valvontaraja(t) ylittyy, on syytä heti selvittää muutosten syyt. Nyrkkisääntönä on, että vaihtelua aiheuttavat erityisyydet, kuten suulakkeen tukkeutuminen tai kuluminen, suunnan muutos, painepumpun vioittuminen, jne. Yleensä R-valvonnassa ei ole muuta kuin keskiviiva ja yläraja. Alaraja puuttuu, koska sen arvo on nolla. Prosessi ei voi mennä negatiiviseksi.

X-R -valvontaa voidaan suorittaa missä tahansa sellaisessa työssä, jossa tieto voidaan kerätä luotettavasti. Tiedon kerääminen on helppoa, jos sen osaa. Mittalaitteet ja mittausmenetelmät on osattava. Prosessin on oltava kunnossa ja koneiden sekä laitteiden oltava ehjiä ja puhtaita ennenkuin X-R -valvontaa voidaan aloittaa. Valvonta voidaan suorittaa kentällä, jos valvontarajat on etukäteen laskettu. Valvontakortin on aivan ehdottomasti oltava kone- ja materiaali-kohtainen. Muuten tuloksien tulkitseminen käy mahdottomaksi. Jos valvontarajoja ei ole laskettu, voidaan se tehdä tavallisella taskulaskimella, jossa on tilastofunktiot. Laskemiseen kuluu noin tunti, kun perustiedot on kerätty. Markkinoilla on myös PC-ohjelmia, mutta tässä tapauksessa niiden käyttö lieenee turhaa. Niin yksinkertainen menetelmä on.

Merkinnän paksuuden ja leveyden säätämiseen X-R -valvonta on ylivoimainen.

Missä tahansa mittaamisessa on huomioitava eräs erittäin tärkeä tilastollinen lainalaisuus: mitä enemmän mittaussarjaan kuuluvat pisteet ovat toisiaan lähellä eli mittauskertojen määrä on suuri, sitä enemmän mittarin virhe vaikuttaa tulokseen ja ohjaa päätöksentekoa. Jos tietyltä tieosuudelta mitataan esim. reunaviivan paluuheijastuvuus ja tiedetään ennalta mittausten lukumäärä, voidaan etukäteen ennustaa tuleeko reunaviiva hyväksytyksi vai hylätyksi. Ennuste on tarkka.

Erittäin vähäinen muutos sarjan otosten määrässä vaikuttaa ratkaisevasti saatavaan lopputulokseen. Kulminaatiopiste sijaitsee otosmäärän ihannepisteessä ja on erittäin jyrkkä kumpaankin suuntaan. Maallikolle ja tilastotiedettä osaamattomalle otosten määrä ei sano mitään ja hän voi harhaanjohtavasti

tuodittautua siihen uskoon, että mitä enemmän otoksia, sitä enemmän oikeaa tietoa. Siksi mittauksen suunniteltaessa on etukäteen tiedettävä minkälainen tulos halutaan ja otosten määrä on suunniteltava sen mukaan. Suunnittelussa on ehdottomasti käytettävä henkilöä, joka tuntee tilastolliset menetelmät. Jos mittaja ei tiedä tätä tosiasiaa, voi tulos olla ratkaisevasti virheellinen. Vastaavasti tätä tilastollista ominaisuutta voi mittaja käyttää hyväkseen manipuloidakseen urakan kaupallisten ehtojen toteutumista joko urakoitsijan etuja myötäillen tai tätä vastaan. Siksi on kaikkien mittaukseen kehitettävä menetelmät, jotta mittauksen tarkoitushakuisuus tulisi ehkäistyä.

Tiemerikintäurakoiden laadunhyväksyntä on erittäin monimutkainen kokonaisuus, jos hyväksynnässä käytetään muuta mittaria kuin silmää. Mittareiden luotettavuus on tunnettava R/R-mittauksien avulla (koskee niin optisia laitteita kuin myös metrimittaa), otosten määrä on suunniteltava tarkoitushakuisesti niin, että tilastollinen ihannepiste toteutuu, materiaalien käyttäytyminen ja levitysmenetelmien sekä materiaalien luonnollinen vaihtelu on tunnettava. Jos nämä tosiseikat eivät ole hallinnassa, ovat urakan toteutumista säätelevät ns. toleranssit perusteettomia. Perusteettomuus voidaan näyttää toteen.

Suunnittelun ja toteutuksen väline

Suunnittelussa ja toteutuksessa työvälineinä toimivat seuraavat työvälineet: R/R-mittaus, jolla selvitetään mittarin kunnollisuus tai soveltuvuus, X-R -valvonta, jolla seurataan prosessin laaduntuntuokykyä. X-R -valvonnasta saadut tiedot voidaan koota menetelmällä, joka on kuvattuna kohdassa *Eri materiaalien valitseminen*.

Laboratoriomittaukset

Laadunvalvonta

Laboratoriossa tuotelaatua voidaan valvoa X-R-valvonnalla. Mittareiden luotettavuutta kalibrointien välillä voidaan valvoa R/R-mittauksella

Laboratorion laatu on riippuvainen välineiden kalibroinnista ja kalibroituudesta. Jollei laite ole kalibroitu, ei se täytä mittalaitteelle asetettuja yleisiä vaatimuksia. Laitteen on oltava luotettava ja sen tulee pystyä toistoon.

Laboratoriolaitteiston kunto on riippuvainen niiden luotettavuudesta. Luotettavuus muodostuu laitteiden ja järjestelmän vioittumiskäyttäytymisestä. Käyttövarmuus- ja luotettavuustekniikka tarjoaa systemaattisen lähestymistavan käyttäytymisominaisuuksien määrittämiseen.

Seuraavat suureet tulevat ensinnä kyseeseen:

<u>Toimintavarmuus</u>	laitteen kyky toimia ilman vikoja tietty ajanjakso
<u>Huollettavuus</u>	vioittuneen laitteen kyky palautua toimintakuntoon huollon tai korjauksen ansiosta.
<u>Huoltovarmuus</u>	huolto-organisaation kyky järjestää tarvittavat edellytykset huoltoa varten (= varaosat, välineet, ohjelmat, henkilöt, jne.)

Käyttövarmuuden hallitsemiseksi voidaan tekniselle laitteelle laatia käyttövarmuusohjelma, jotta vaadittaviin ominaisuuksiin päästäisiin, ominaisuudet toteutuisi ja tulisi hallituksi.

Tiementeknämateriaalien laboratoriomittauksissa kaikkia laitteita ei valitettavasti voida kalibroida. Näistä merkittävin lienee Tröger-laite.

Tiementekninnöistä laboratoriassa tutkitaan seuraavasti:

Maalit:	Väri ja luminanssi Peittokyky Varastoitumiskyky UV-vanhentaminen Väririkko Alkalin kestokoe	Komponenttimassat:	Väri ja luminanssi Varastoitumiskyky UV-vanhentaminen Alkalin kestokoe Tröger -koe Tröger UV:n jälkeen
Kuumamassat:	Väri ja luminanssi		
- ennen kuumen kestoa:	Pehmenemispiste Alkalin kestokoe Kuumen kestävyys		
- kuumen keston jälkeen:	Väri ja luminanssi Pehmenemislämpötila Kylmän kestävyys Leimapainuma Tröger -koe UV-vanhentaminen Tröger UV:n jälkeen		

Maalien luminanssi ja väri mitataan valo-optisella laitteella, jonka valo on standardi D65 valolähde. Valo jäljittelee päivän valoa ja on hehkulamppu. D65 noudattaa samaa spektriä, jolla silmäkin toimii.

Maali levitetään alumiinilevylle ja annetaan kuivua 7 päivää 18°C ... 28°C lämmössä 45% ... 55% ilman suhteellisessa kosteudessa. Luminanssi mitataan kolmesta pisteestä.

Maalien varastoitumiskyky mitataan 6 kk:n varstoimisajan jälkeen. Siinä arvioidaan saostuminen asteikolla nolasta kymmeneen.

Maalien väririkko mitataan bitumin päältä 3 vrk:n jälkeen levityksestä. Maali kuivuu edellä kuvatuissa olosuhteissa.

Maalien UV-vanhennuksella pyritään simuloimaan luonnonolosuhteista johtuvaa rappeutumista, jota aiheuttaa aurinko ja vesi. Kokeella ei haluta ottaa kantaa saastumisen aiheuttamiin asioihin. Testi tapahtuu sääkaapissa, jossa saadaan aikaiseksi eri lämpötiloja ja kosteuden vaihtelua. Testin ajan UV-lamppuja kierrätetään kuten myös näytepaloja. Testi kestää 12 viikkoa.

Kaikkien materiaalien emäksen sietokykyä mitataan niissä tapauksissa, jolloin materiaalia tiedetään käytettävän betonipinnoilla. Muutoin koe on tarpeeton.

Kuumamassojen luminanssi ja väri mitataan samalla laitteella kuin maalienkin. Materiaalissa olevien helmien ei uskota vaikuttavan luminanssiarvoihin.

Kuumamassojen pehmenemislämpötila testataan 13,9 kg:n metallipallolla, jota puristetaan annetun ajan annetulla paineella lämpötilan muuttuessa.

Kuumamassojen kuuman kestossa mitataan materiaalin kykyä pysyä tasalaatuisena. Massaa sekoitetaan koko ajan 100 r/min noin 200°C:ssa korkeintaan 1,5 tunnin ajan. Kun massa on kylmentynyt huoneen lämpöiseksi, siitä mitataan:

väri ja luminanssi	kylmän kestävyys
leimapainuma	Tröger
UV-vanheneminen	

Kylmän sieto mitataan, kun materiaali on jäähdytetty jäämurskalla ja vedellä 0°C:n lämpötilaan. Näytteeseen pudotetaan 2 m:n korkeudelta teräspallo, jonka halkaisija on noin 25,4 mm ja paino on noin 66,8 g.

Leimapainuma mitataan 1 cm² mittakärjellä 515 kN:n voimalla. Leiman annetaan painua materiaaliin 10 mm annetussa lämpötilassa. Aika painumiseen mitataan.

Tröger-laite on ikäänkuin neulapistooli, jossa ilmanpaineen avulla nippu tasapäisiä nauvoja kohtisuorassa iskeytyy pyörivään alustaan kiinnitettyyn pyöreään kappaleeseen. Alusta pyörii 30 r/min ja ilmanpaine on 500 kPa. Neulojen korkeus kappaleesta on 5 mm.

Tröger-kokeessa pyritään jäljittelemään kulutusta. Koe tehdään -10°C:n lämpötilassa. Materiaalin lämpötila saavutetaan jäähdyttämällä kappale pakastimessa. Kokeen aikana kappaletta jäähdytetään koko ajan, jotta lämpötila pysyisi säädetyssä -10°C:ssä. Käytännössä järjestely on jotakuinkin mahdoton. Koe suoritetaan eri pituisina jaksoina. Kappaleen paino mitataan kokeen alussa ja lopussa. Perinteisesti levitettävä kuumamassa koeistetaan 3 mm paksuna ja spray 1,5 paksuna kerroksena. Se, että onko -10°C vai ±0°C oikea lämpötila, aiheuttanut hyvin paljon vilkasta mielipiteiden vaihtoa.

Kitka testataan mekaanisella heilurimittarilla, joka soveltuu pienten pintojen mittaamiseen. Laite on kannettava ja kokeita voidaan suorittaa kentällä, mutta ongelmaiseksi tulee laitten asetus. Se on hankala ja vie aikaa.

Mittaus tapahtuu siten, että heiluri asetetaan 90° kulmaan, josta se irrottuaan heilahtaa ja hipaisee kohteen pintaa. Heilurin alaosassa on kuminen pinta, joka jarruttaa liikettä. Heiluri ottaa mukaansa viisarin, joka jää osoittamaan kitkavoimaa. Luku ilmoitetaan kitkalukuna 1 ... 100.

Lasihelmet arvostetaan seulonnan seossuhteen, muodon, valontaitekertoimen, kemiallisen kestokyvyn, erilaisten pintakäsittelyiden onnistumisen ja optisten ominaisuuksien perusteella.

Seulonnassa käytetään kahta seulaa riippuen halutusta raekoosta. Jako on hieno ja keskikarkea:

ISO 565:n mukainen hieno seula:

Kumulatiivinen jakauma		
500 µm	0 -	2
425 "	0 -	10
250 "	20 -	60
150 "	60 -	95
90 "	95 -	100

ISO 565:n mukainen keskikarkea seula:

Kumulatiivinen jakauma

710 μm	0 - 2
600 "	0 - 10
355 "	30 - 70
212 "	70 - 100
125 "	95 - 100

Helmille asetetaan seuraavat muotoon kohdistuvat hylkäämisrajat:

		Sirotehelmet	Sekoitehelmet
Soikeat	suuremman halkaisijan suhde pienempään	>1,3	>1,3
Satelliitit	pienemmän helmen suhde suurempaan	>0,25	>0,25
Pisarat	suuremman halkaisijan suhde pienempään	>1,3	>1,3
Yhdistyneet	suuremman halkaisijan suhde pienempään	>1,3	>1,3
Pyöreähköt	suuremman halkaisijan suhde pienempään	>1,3	>1,3

Valontaitekertoimia on kolme:

Luokka A	$\geq 1,5$
Luokka B	$\geq 1,7$
Luokka C	$\geq 1,9$

Kemiallisissa kokeissa selvitetään helmien kestävyyttä veden ja erilaisten happojen, kalsiumkloridin (suolan) ja natriumsulfaatin suhteen.

Veden kestävyys tutkitaan keittämällä helmiä vedessä ja sen jälkeen tutkitaan ettei helmet ole samentuneet.

Kalsiumkloridin, rikkihapon, suolahapon ja natriumsulfaatin kestävyys todetaan panemalla helmet pulloon, jonne kaadetaan mainitut nesteet. Näyte saa seistä annetun ajan, jonka jälkeen tutkitaan, ettei helmet samentuneet tai tummentuneet.

Silikoonipinnoitteen olemassaolo todetaan sirottelemalla 1 dl helmiä vettä sisältävään suppilomaiseen astiaan 5 mm korkeudelta. Uponneiden helmien määrä todetaan 5 minuutin kuluttua.

Väri todetaan spektrofotometrillä.

Hyväksymiskäytännöt

Tiemerkintämateriaalien hyväksyminen perustuu yleiseurooppalaiseen standardiin. Tai oikeammin tulevaan standardiin. Nämä CENin laatuvaatimukset on suunniteltu niin, että jokainen maa voi valita itselleen sopivat tiemerkinnöille asetut toiminnallisuustavoitteet. Kukin toiminnallisuus on luokiteltu useampaan tasoon. Kutakin tasoa voidaan soveltaa eri käyttökohteissa. Jos jonkin maan laatuvaatimukset omaava tuote hyväksytään toisessa maassa, voidaan tuote hyväksyä kolmannessa maassa ilman erityisiä kokeita. Riittää, että valmistaja ilmoittaa, että tuote täyttää tietyn vaatimuksen tietyn luokan. Tuotehyväksymismenettely on vielä kaukana valmiista ratkaisusta. On puhuttu, että materiaalit saisivat hyväksymisleiman tai merkin, jossa ilmenisi mitä tuotelaatuluokkaa materiaali edustaa.

Valaisuominaisuudet

Valolähteet

Optisessa mittauksessa yleensä pyritään samaan spektriherkkyyteen, mikä on silmälläkin. Käytännössä tämä jää todellakin tavoitteeksi, mutta tuskin kovinkaan kauas todellisuudesta. Paluuheijastuvuus- ja luminanssimittarit ovat tyypillisimmillään juuri tällaiset. Silmän spektriherkkyydetä käytetään nimitystä $V(\lambda)$ - V lamda. Se on peräisin kansainvälisen valaisujärjestön CIE:n tekemästä sopimuksesta, joka tehtiin vuonna 1951. Nyttemmin kritiikkiä sen toimivuudesta on esitetty eikä perusteettomasti. On havaittu, että luminanssimittaukset tuottavat virheellisiä tuloksia varsinkin niissä kokeissa, jossa pyritään selvittämään ilmsen kokemaa valaistusaistimusta. $V(\lambda)$ vastaa parhaiten silmän spektriherkkyyttä päiväsaikaan, kun näkökenttä on 2° . Jos asteluku kasvaa, silmän spektriherkkyys siirtyy siniseen päin ja ei vastaa enää $V(\lambda)$ -arvoja. Pimeänäkemistä varten on erikseen $V'(\lambda)$, jonka mukaan pitäisi luminanssi- ja paluuheijastuvuusmittaukset tehdä. Vain yksi paluuheijastuvuusmittari on rakennettu tätä silmälläpitäen ja se on Potters-Ballotinin markkinoima amerikkalainen LaserLux. Muut mittarit käyttävät halogeenilamppua, joka ei ole lähellekään mitään valovakiota. Näiden muiden mittarien rakentajat ovat tietoisia ongelmasta, mutta eivät välitä siitä. Standardivalo maksaa paljon ja toistaiseksi mittareilta ei ole vaadittu suorituskykyä tai kalibrointia. Ne ovat eläneet valvomatonta elämää. Näin on myös pohjoismaissa suositun LTL800:n kohdalla.

Valovakioita on maailmassa vähän ja harvoilla tutkimuslaitoksilla. Näiden normaalien pohjalta valmistetaan ns. sekundaarinormaaleja, joiden spektri on tunnettu ja joiden perusteella voidaan valmistaa kaupallisia tuotteita.

Mittalaitteiden kalibroinnissa ja myös mittauksissa käytetään vakiovalonlähteitä A tai D65. Sitten on vielä valonlähteet B ja C, jotka johdetaan A:sta.

Valoanturit

Jotta valomittaus voitaisiin suorittaa virheettömästi, tarvitaan tarkoitukseen sopiva anturi. Anturin tulee noudattaa tiettyä spektriherkkyyttä ja vastata ihmissilmää. Mitä laajemman spektrin laite mittaa, sitä pienemmän virheen se tekee, varsinkin silloin, kun valonlähde ja laite on kalibroitu samantyyppiselle valolle. Monokromaattisella valolla virhe voi olla huomattava, ellei virhettä tunneta ja sitä pystytä huomioimaan tuloksissa tai näytössä. Tämä on tilanne LaserLux:in kohdalla, jossa valonlähteenä on punainen neonlaser.

Laitteistot

Valoanturit - kennot - ovat poikkeuksetta valosähköisiä kennoja, joden spektriherkkyys ei vastaa silmän $V(\lambda)$ -käyrää ihan sellaisenaan, vaan tarvitaan ulkoisia suotimia.

Kaikki valosähköiset kennot ovat herkkiä lämmölle. Niiden kalibrointi suositetaan suoritettavaksi standardin mukaan $+25^\circ\text{C}$:n lämpötilassa. Mikäli mittaus suoritetaan kalibrointilämpötilasta poikkeavissa olosuhteissa, syntyy välittömästi mittavirhettä. Jotkin anturit ovat lämpöstabiloituja. Esim. piikennoisten mittareiden herkkyys on lineaarinen. Nollassa mittari antaa noin $+2\%$

mittavirhettä, kun taas $+30^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa noin $-0,5\%$. Lämpötilalla on suora vaikutus myös mittarin spektriherkkyyteen. Mitä sinisempää valoa, sitä suurempi virhe. Virhe on eksponenttiaallinen siirryttäessä siniseen.

Mittavirheen voi testata R/R-menetelmällä hallituissa olosuhteissa vakiokappaleella.

Spektrimittaus kuuluu perusmittauksiin. Sillä mitataan tiemarkintämateriaalien värikoordinaatit maaleista, massoista ja lasihelmistä.

Väriä voidaan mitata spektrofotometrillä yksinkertaisemmalla värimittarilla. Niillä voidaan selvittää esim. värikoordinaatit. Silloin mittarissa tarvitaan kolmea kennoa, joiden spektriherkkyys vastaa CIE:n kolmiväriteorian mukaista painostusta. Mittarista saadaan x, y ja z -koordinaatit. Ongelmana on kuitenkin x-käyrän mukaisen suodattimen rakentaminen ja se aiheuttaa kalibrointiongelmia.

Luminanssimittari koostuu valokennosta ja valoa ohjaavasta optiikasta. Valo ohjataan kohteeseen ja mitataan sen voimakkuus. Tällä periaatteella toimivat kaikki paluuheijastuvuusmittarit. Ne siis ovat itse asiassa luminanssimittareita, jotka tutkivat kohdetta tavalliseen luminanssimittariin nähden poikkeavassa kulmassa. Kulman aikaansaaminen on sen pienuudesta johtuen merkittävä ongelma. Käytettävät komponentit ovat liian isoja, joten ne joutuvat toistensa tielle.

Valaistusvoimakkuus riippuu pinnan luminanssista ja linssin halkaisijasta ja on riippumaton mitattavan pinnan koosta ja sen etäisyydestä

Eri olosuhteiden simulointi

Ajo-olosuhteiden simulointi on tuttua autoteollisuudessa ja hyvin usein liikennepsykologia turvautuu autotehtaiden laboratorioihin. Suosituin on toistaiseksi ollut Volkswagen, mutta 1992 Renalut sai kuntoon oman simulaattorinsa, joka perustuu auton koriin ja sen ikkunoihin tehtyihin näyttöihin. Siinä ajaja joutuu virtuaalitodellisuuteen.

Virtuaalitodellisuus perustuu erittäin tehokkaisiin grafiikkatyöasemiin, hyvälaatuisiin videotykkeihin ja monipuoliseen grafiikkaohjelmistoon. Virtuaalitodellisuus on simulaattori ja Renaultin simulaattoria käytetään osana laajaa eurooppalaista ajoturvallisuuteen tähtäävää projektia. Ajaja istuu pimeässä autossa ja valkokankaille heijastetaan grafiikkaohjelman avulla simuloitu kolmiulotteinen liikennetilanne. Kuva saattaa olla peräisin todellisuudesta, joka on kuvattu kameralla, syötetty järjestelmään lähtötiedoksi ja muokattu grafiikkaohjelmistolla sellaiseksi, että autoja on joko lisätty tai poistettu, valaistusolosuhteita on muokattu niin, että esim. auringon sijainti muuttuu sitä mukaan kun ajo etenee. Maisemaan on "rakennettu" rakennuksia tai niitä "purettu", jne. Oikeasti pellolle on ohjelmassa "kasvatettu" harva metsä, jonka lävitse paistaa aurinko etuviistosta ja se häikäisee. Ajaja voi nähdä viereisellä kaistalla olevan auton antavan suuntamerkin ja vaihtavan sen jälkeen kaistaa. Hän voi seurata liikennettä taustapeleistä. Hän voi halutessaan ohittaa edellä ajavan auton tai kääntyä haluamastaan tien risteyksestä ja sukeltaa tunneliin. Hän pystyy hallitsemaan autoa painamalla joko kaasua tai jarrua sekä kääntämällä rattia ja sen kaiken myös tuntee.

Edelläkuvatus monimutkaisen ajo- ja liikennetilanteen simuloinnilla halutaan testata ajajan kykyä selviytyä eri tilanteista tosiaikaisessa ympäristössä. Simulaattorit ovat lyömättömiä silmän liikkeen tutkimuksessa. Esim. sadekelin häikäisyjä on simuloitu Volkswagenin laitteistolla erittäin onnistuneesti. Renaultin laitteisto on vielä edistysellisempi. Vaikka ajaja tietää olevansa simulaattorissa ja saattaa tietoisesti toimia sen mukaan, ei hän kuitenkaan voi mitään alitajuntaisille toimintoilleen ja reaktiot ovat normaaleja. Tietoisuutta ei voi pettää, mutta vaistonvaraisia toimintoja voi.

Arvostusmallit

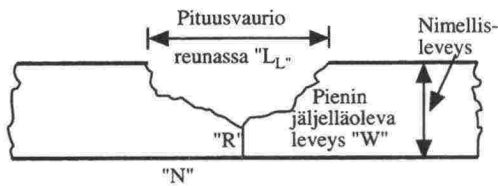
Vaurioiden arviointi

Tiemerkintöjen elinikään vaikuttaa kolme syytä: vaurio, työvirhe ja/tai ikääntymisestä johtuva toiminnallisuuden lasku. Vaurion ja työvirheen arviointi voidaan suorittaa samalla tavalla, mutta ikääntymisen aiheuttamaan rappeutumaan ei menetelmää voi soveltaa. Tämä johtuu siitä, että käytössä olevat mittausmenetelmät eivät todenna puutetta arvostusmallin edellyttämällä tavalla.

Vaurioiden arvioinnin tarve ja merkitys korostuu osana urakointien katselmusta ja arvioitaessa talvikunnossapidon toiminnan laatua laatukustannusten avulla.

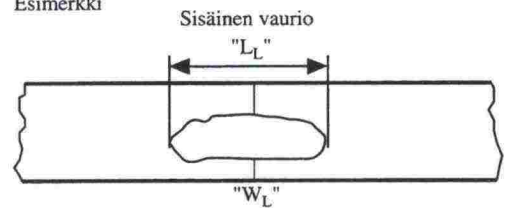
Seuraavana on kuvattu neljä eri vauriotyyppiä ja niiden arvostustapa.

Esimerkki



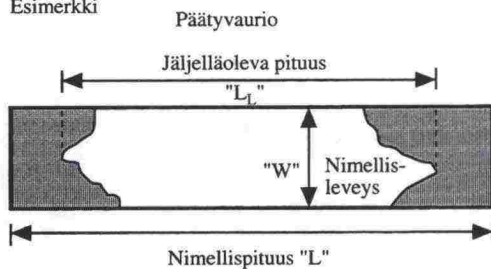
$$\text{Reunavaurio} = L_L = 1/2 (W - R) L_L$$

Esimerkki



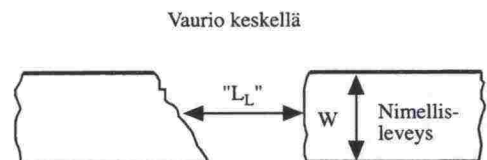
$$\text{Sisäinen vaurio} = L_{L4} = L_L \times W_L$$

Esimerkki



$$\text{Päätyvaurio} = L_2 = (L \times W) - (L_R \times W)$$

Esimerkki



$$\text{Vaurio keskellä} = L_3 = L_L \times W$$

Kokonaisvaurio saadaan seuraavasti:

$$\Sigma L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

Merkintöjen eheyden osuus lasketaan seuraavasti:

$$\text{Eheys\%} = \left(\frac{\text{Nimellispinta - ala} - \Sigma L}{\text{Nimellispinta - ala}} \right) * 100$$

Hyöty / laatusuhteet

Kysymystä edullisimmasta merkintämateriaalista on yritetty ratkaista pitkään. Haastattelujen perusteella yleisesti operatiivisella tasolla tiedostetaan, että ostohinta ei ole oikea apuväline tuotteen edullisuutta arvioitaessa. Valitettavasti julkisen sektorin hankintasäännökset, määrärahojen jakoperusteet vuosibudjeteittain, organisaation oma tavoiteasetanta ja sen päätöksen tekoa ohjaava poliittinen tavoiteasetanta eivät tue muuta arvon määrittäysperustetta kuin ostohintaa. Jo aiemmin tässä kirjassa on otettu kantaa asiaan "hinta" kohdassa *Teknologinen kehitys*. Siellä käsitellään seuraavia hintaan liittyviä aiheita: ostohinta, laatumukustannus ja arvohinta.

Joka tapauksessa tiemarkinta on samanlainen infrastruktuuri-investointi kuin tieverkoston ylläpito. Tiemarkintojen positiivisesti taloudellisesta roolista ei ole epäilystäkään. On voitu vetää johtopäätökset tehtyjen seurantojen perusteella, että tehokkaat tiemarkinnat vähentävät onnettomuuksia subjektiivisesti mitattuna paljosta erittäin rajuihin asti (3% ... 60%).

On myös todettu, että nopeudet kasvavat hyvin merkityillä tieosuuksilla keskimäärin 3 km/h, mutta se on luonnollista kolmesta syystä: ajaja mittaa ulos saamansa hyödyn kasvattamalla nopeuttaan, tieosuudet ovat tulleet turvallisemmiksi ja liikenne sujuu joustavammin.

Nopeuden nousu ja liikenneturvallisuus kulkevat käsi kädessä. Liikenteen sujuvuus on edellisistä hieman irrallaan oleva asia. Näiden perusteella voidaan tarkastella taloudellisuutta eri näkökulmista.

Nopea tieliikenne merkitsee vähemmän vietettyä aikaa tiellä ja päästöjen määrä ajassa mitattuna laskee. Suuremmassa nopeudessa autot kuluttavat enemmän, mutta vastaavasti nopeampi lähiöliikenne lämmittää moottorin nopeasti ja päästöjen määrä vähenee samoin kuin polttoaineen kulutus. Tieosuuksilla nopea ajo säästää mootoria. Voidaan käyttää suurinta vaihdetta entistä aikaisemmin ja pitempään, koska ajo on tasaisempaa. Moottorin karstoittuminen on vähäisempää. Haittapuolena nopeassa ajossa on asfaltin nopeampi kuluminen varsinkin nastarengaskautena.

Joka tapauksessa tutkimuksilla on pystytty aukottomasti todistamaan, että tiemarkinnat eivät ole kustannus, vaan kannattava investointi. Investointi on perusteltava laskennallisesti. Kullakin organisaatiolla on oma investointiperusteensa ja -mallinsa, joten tässä voidaan antaa vain yleiset suuntaviivat malliin sijoitettaviksi.

Käytännössä ei ole olemassa asetelmaa hinta/laatu -suhde, vaan mieluummin käytetään termiä hyöty- tai laatumukustannus. Tässä yhteydessä kummatkin voidaan käsittää samaksi asiaksi.

Laatumukustannus on suoraan verrannollinen tiemarkintojen aiheuttamiin hyötyihin, joita verrataan tiemarkintoihin menneisiin kustannuksiin. Kustannus ilmoitetaan rahassa. Jos vuosittaista odotettavissa olevaa hyötyä kuvataan h_z ja k_z kuvataan merkintäkustannuksia, niin suhde (LKS) voidaan kuvata seuraavasti:

$$LKS = \frac{h_z}{k_z}$$

Hyötyyn voidaan rakentaa sisään lisääntynyt turvallisuus, lyhyemmät tielläoloajat, mahdollisesti vähentynyt polttoainekustannus, työajan säästö tai sen kasvanut tehokkuus, yksityisen sektorin kasvanut pääomien kierto lyhentyneiden toimitusaikojen myötä ja vaikka mitä.

Toistaiseksi ollaan totuttu siihen, että tiemerikintöjä ei tarvitse huoltaa, koska huollettavaa ei ole. Maalimerkinnot joudutaan tekemään usein jo kokonaan kuluneiden merkintöjen paikalle. Kun CEN:in mukaiset toiminnallisuusvaatimukset ovat astuneet voimaan, tilanne on toinen. Sijainnista riippuen tiemerikintä joudutaan uusimaan entistä tiheämmin tai elvyttämään tavalla tai toisella. Tällöin vuosittaiset kustannukset ovat:

$$k_{\Sigma} = M + P + E + K_{hall}$$

jossa:

M = vuosittaiset materiaalikustannukset (sideaine, helmet, liuottimet, polttoaineet, jätehuolto, ongelmajätteen hävittäminen, inflaatio, jne)

P = vuosittaiset henkilöstökustannukset sisältäen palkat henkilösivukuluineen, luontaisedut, päivä- ja kilometrirahat sekä työtapaturmasta ja ammattitaupeista aiheutuneet kulut ja kustannukset.

E = vuosittaiset esimerkintä-, laitteiston kuljetus-, käyttö-, huolto-, varaosien odotus-, muutos-, suojaus- ja varastointikustannukset sekä poistot ja vanheneminen.

K_{hall} = vuosittaiset suunnittelu-, tilaus-, valvonta-, suojaus- ja muut painotetut hallinnolliset kulut.

Tässä kaikki vuosittaiset kustannukset muodostuvat todellisista kustannuksista, vaikka maalaus suoritetaan vai kerran vuodessa ja merkinnästä ei ole enää mitään jäljellä kolmen kuukauden kuluttua. Kustannusten arvioinnissa on otettava huomioon nykyarvotekijä, jota kutsutaan myös alennustekijäksi. Tekijää käytetään turvallisuutta arvioitaessa. Mm. Markovin päätöksentekomalli käyttää täsmälleen tätä samaa laskentaperustetta ja samoja lukuarvoja: tarkasteluväli on 5 vuotta ja alennustekijä 10%.

Virallisesti julkistetut hinnat ovat keskihintoja, mutta valitettavasti tilastot eivät kerro hintojen keskihajontaa. Tästä seuraa, että keskihintoja ei voida käyttää tämän tyyppisessä kustannuksen muodostuksessa, koska jokainen lähtö on eri hintainen. Samoin työ kaupunkialueella maksaa eri lailla kuin tieosuuksilla. Kaupunkialueella tapahtuvan työn kalleuteen vaikuttavat mm. seuraavat seikat:

1. Työpäivän pituus, jota rajoittaa ruuhka-ajat sekä viikonloppuliikenne.
2. Tiheästi liikennöidyillä osuuksilla joudutaan korottamaan suojautumisastetta.
3. Erikoismerkintöjen (nuolet ja poikittaisraidat) teko kestää työnä ja suojautumisena.

Seuraavana ongelmana on urakoidun ja oman työn hinnaneron vertailu.

Materiaalikustannuksen osalta tilanne lieene tunnettu, mutta eroja alkaa syntyä palkka- ja henkilösivukustannuksissa. Tilanne muuttuu kaluston osalla, jossa hankinnan rahoitustapa ratkaisee laskentaperusteen. Laitteistoon liittyy myös vakuutusmaksut, jotka muodostuvat valtion puolella poikkeavasti yksityiseen sektoriin nähden. Yleisesti voidaan sanoa, että yksityisen ja julkisen sektorin hinnan muodostusrakenne poikkeaa ratkaisevasti toisistaan. Yksityisen sektorin on välttämättä tuotettava voittoa, jotta se selviäisi velvoitteistaan yhteiskuntaan päin.

Nolla-tulostavoite kaataa yrityksen, mutta ei perinteisesti toimivaa julkisen sektorin organisaatiota.

Käytettävät materiaalit ja niihin sitoutuva kalusto on myös ongelma. Mikä taho suorittaa työn millä kalustolla? Kuinka kauan merkintää pitää suojata? Ratkaiseeko materiaali valvonnan tason? Tarvitaanko esimerkintöjä vaikka tieosuudella on ollutkin ennestään merkinnät? Voidaanko käytössä olevia materiaaleja levittää päällekkäin? Komponenttimateriaalit ovat herkkiä ristikkäissuhteissa. Miten kuumamassamerkinnät saadaan elvytetyksi vaikka levitettä on paljonkin jäljellä? Näihin kysymyksiin ei saa vastausta muuta kuin laskemalla.

Seuraavaksi käsitellään hyötyjä. Tiemarkintöjen hyödyt h_z ovat vuotuisen hyödyn summan nykyarvoja. Hyöty on yhden mittayksikön tieosuutta kohti:

$$h_z = A \cdot R \cdot kS \cdot V \cdot T \cdot (1/s' - 1/s)$$

jossa:

A = vuotuisen liikenneonnettomuuksien määrä kyseisellä tieosuudella.

R = suhteellisten liikenneonnettomuuksien odotettavissa oleva väheneminen tehostettujen merkintöjen ansiosta (määrä).

kS = ennustettu kustannussäästö rahassa mitattuna * liikenneonnettomuusindeksi

V = kyseisen tieosuuden vuotuinen liikennemäärä (kerätty tieto, ei arvio)

T = matkustetun tunnin arvo

s' = liikennevirran keskimääräinen nopeus ennen päällystemarkintöjä tai ennen tehostettuja merkintöjä

s = liikennevirran keskimääräinen nopeus muutettujen tiemarkintöjen jälkeen

Liikenneonnettomuudesta koituvat kustannukset muodostuvat monesta eri komponentista: kaikkien omaisten aineelliset ja henkiset menetykset, kotitalouden menetykset, joihin on lisättävä elämänlaadun laskeminen, työpaikan menetykset, kunnan ja valtion menetykset summattuna henkilöön kohdistuneet kasvatus- ja koulutusinvestoinneilla. Suomessa liikenneonnettomuudessa kuolleen henkilön kustannuksia ei ole tarkkaan laskettu ja annetut arvot vaihtelevat, mutta se lienee yli 10 miljoonaa. Eloönjääneen kohdalla kustannuksia on vaikea laskea, koska henkiinjäämisessä on useita eri asteita. Siksi kS on luokiteltava loukkaantumisten vaikeusasteen mukaisesti ja suhteutettava tietylle aikajänteelle, jotta piilevien seurauksien vaikutus tulisi näkyviin.

Seuraavassa taulukossa on esitetty pitkittäissuuntaisten merkintöjen prosentuaalinen merkitys liikenneonnettomuuksia vähentävänä tekijänä. Taulukon arvot perustuvat tutkimuksiin luetelluissa maissa. Tutkimuksissa käytettiin erilaisia koeryhmiä ja jotkut tutkimukset on suoritettu ilman valvontaa ja joiden alkuperä on tuntematon. Ruotsissa on tilannetta seurattu, mutta siellä kattava seuranta on kesken. Joka tapauksessa ainakin yhdellä tieosuudella on päästy 60%:n onnettomuuksien vähenemiseen.

Keskiviivat	%
Yhdysvallat	29
Baijeri	10

Reunaviivat	%
<u>Yhdysvallat:</u>	
Koko maa	8
Kansas	14,5 - 16,5
Ohio	19
Illinois	21
Idaho	16
Utah	38
Arizona	60
Michigan	3
<u>Iso Britannia:</u>	
East Sussex	18
South Yorkshire	30
Cornwall	26
Northamptonshire	12
Hertfordshire	22
<u>Ranska:</u>	
Lorraine	27
<u>Saksa:</u>	
Hessen	20
Alasaksi	25

Taulukossa olevat arvot voivat olla harhaanjohtavia, koska joissakin tapauksissa teillä ei ollut merkintöjä laisinkaan ja joillakin oli. Ruotsissa mainitulla tieosuudella oli perinteinen ruotsalainen merkintä, joka muutettiin niin, että reunaviiva on yhtenäinen 30 cm leveä Kamflex (=10 cm jalkaviiva + 20 cm kampa). Keskiviiva on 20 cm ja kaistojen määrä nousi kahdesta kolmeen, jolloin keskikaista on ohitusta varten. Vaikka nopeudet ovat nousseet, on liikennevirta sujuvampaa, nopeudet tasaisia ja ajoon käytetty aika laskenut ruuhka-aikana dramaattisesti.

Kukin organisaatio voi ottaa laskelmissaan huomioon matka-ajan säästön rahallisen arvon, joka kussakin maassa lasketaan eri lailla. Siksi siihen ei tässä voida tarkemmin puuttua. Esimerkkinä on seuraava malli:

Matkustusajan arvo kuljettajan kohdalla on 60% bruttotuntipalkasta ilman henkilösivukustannuksia. Jokaisen matkustajan kohdalla vastaava luku on 45%. Jokaisessa autossa matkustaa kuljettajan lisäksi 0,7 henkeä. Joten:

$$0,6 + 0,45 * 0,7 = 0,915$$

Säästetyn matka-ajan arvo ajoneuvoa kohden on 91,5% matka-ajalta saadusta palkasta.

Laatukustannus tulee laskea tietyypeittäin ja -osuuksittain koska merkintämateriaalien käyttö vaihtelee. Tieosuudet tulee tunnistaa liikennerasituksen mukaisesti. Tyypillisimmin esimerkki voidaan ottaa valtatieltä, jonka välittömässä läheisyydessä on pieni kaupunki. Asukkaat käyttävät valtatieltä ± 10 km:n säteellä nostaen liikennemäärää mainitulla osuudella 30% muuhun liikennemäärään nähden. Hallinnollisesti tieosuus voi olla muuta. Jos tässä tapauksessa arvostus tehdään hallinnollisen tieosuuden mukaan, saadaan laskelmissa vääriä tuloksia. Siksi arvostusperusteet tulee tunnistaa.

Ympäristökustannukset tulee ottaa huomioon säästö- ja kustannuspuolella. Valitettavasti esim. hiilivetypäästöjä ja muita myrkkypitoisuuksia ei ole vielä pisteytetty, joten tiemerkintämateriaalit ovat laskennallisesti keskenään samanarvoisia, vaikka todellisuudessa tilanne on toinen.

Edellä kuvattu malli kokonaisuudessaan on kehitetty USA:ssa 1992, vaikka se käyttää Markovin mallin hinnan muodostusperustetta. Euroopassa ja varsinkin pohjoismaissa se on saanut erittäin positiivisen vastaanoton. USA:ssa mallia on tuskin huomioitu, koska se julkaistiin Phoenixissa tammikuun 16. päivänä The American Glass Bead Manufacturers Assosiation (Yhdysvaltojen lasihelmivalmistajien yhdistys) kustantamassa raportissa. Tiehallintoviranomaiset USA:ssa suhtautuvat erittäin nihkeästi kaikkiin tutkimuksiin, jotka ovat teollisuuden rahoittamia. Vaikka raportissa onkin havaittavissa tavoitehakuisuutta, ei sillä ole merkitystä pohjoismaissa. Täällä tiemerkinnät ovat laadullisesti korkeammalla tasolla kuin USA:ssa.

Kuvattu malli ei ota suoraan huomioon kulumista. Se tuskin on tarpeen, sillä tiemerkinnät kuluvat joka tapauksessa ja toisekseen: niiden tuleekin kulua vähintään samassa suhteessa kuin tien pinnoitteen. Kolmanneksi, jos teiden kunnossapitobudjetoinnissa käytettyä Markovin mallia käytetään rinnan tämän mallin kanssa niin, että ne keskustelevat toistensa kanssa, kulumis- ja rappeutumistiedot ovat myös yhteydessä toisiinsa ja ongelma on ohitettu.

Ne arvostusmallit, joissa otetaan kulumisen huomioon, ovat ajalta, jolloin kulutuskestävyys oli keskeisin mittari. Kun toiminnallisuus on astunut kuvaan, mallit eivät enää toimi, joten niitä ei tässä käsitellä.

Vaikka kulumisen on sallittua, on sen oltava kuitenkin hallittua ja tavoitehakuista. Kuluminen laatukustannuksia tulee tarkastella optimaalisen käytön tavoittamiseen ja sitä kautta kohteisiin oikeiden materiaalien valitsemiseen.

Eri materiaalien valitseminen

Riippumatta siitä mitä ominaisuuksia tiemerkinnöiltä edellytetään, parhaimman materiaalin määrittäminen on ollut ongelma. Merkintätöitä suunnittelevalle henkilöstötasolle ongelma on merkityksellisin. Monesti on asiaan otettu kantaa lähtökohtana *kannattavuus*. Toinen näkökanta on liikenneturvallisuus ja sitä kautta *kansantaloudelliset säästöt*. Kolmantena ja harvinaisempaan on merkinnän *toiminnallisuuden ja eliniän luotettavuus*. Mahdollisesti kaksi ensimmäistä mallia ja näkökohtaa ovat olleet kaukana jokapäiväisestä ongelmasta: määrärahojen riittävyys. Yksittäisessä piirissä kansalliset päämäärät varmaankin tuntuvat kaukaisilta. Pääasia on se, että mahdollisimman hyvät merkinnät saadaan aikaiseksi hyvin rajallisilla määrärahoilla. Jos korkeatasoisia suunnittelumalleja - kuten Markovin päätöksentekomallia - ei ole, jäävät päätöksenteon työkalut vähäisiksi.

Jos kuitenkin on mahdollista tiedon keräämiseen, kannattaa sitä kerätä paljon ja erittäin systemaattisesti. On syytä kerätä monenlaista tietoa eri tyyppisiltä tieosuuksilta niin, että voidaan tilastollisesti saada kattava aineisto merkinnän käyttäytymisestä tietyissä ajogeometrioissa ja vielä niin, että se ei jää vaikuttavaksi tekijäksi yksittäisellä tieosuudella. Myös materiaali-kohtainen seuranta on oleellista kaikkien toiminnallisuuteen vaikuttavien komponenttien lisäksi, joita ovat paluueijastuvuus, luminanssi ja kitka. Tiedon keräämisessä tulee noudattaa

tiheätä ja säännöllistä aikataulua. Aineistoa tulee olla paljon 1 ... 3 vuoden ajalta. Tavoitteena on saada aikaan rappeutumismalli, jota Markov käyttää. Tässä mallia on tarkoitus käyttää paljon yksinkertaisemmin.

Rappeutumismalliin päästään luotettavuustekniikan kautta, joka kehitys aloitettiin 40-luvulla. Menetelmät ovat helppoja ja matematiikka periaatteessa yksinkertaista. Tiedon määrä vain on suuri ja siksi PC:n käyttö on suositeltavaa. VTT:llä on sopiva analysointiohjelma, jonka käyttäjäliittymä vain on vanhanaikainen. Luotettavuustekniikan sovellutusalueet laajenevat voimakkaasti ja kattaa nykyään mm. kemian-, lentokone-, auto-, ydinvoima-, prosessi- ja tietoliikenneteollisuuden.

Tiemerkintäpuolella luotettavuustekniikkaa voidaan käyttää reseptiikasta merkinnän suorituskyvyn mittaamiseen. Materiaaleja kehitettäessä tehdään ratkaisut käytettävistä raaka-aineista ja niiden keskinäisestä suhteesta. Resepti on aina jonkin ominaisuuden kompromissi, mutta tarkkaan ei tiedetä mitenkä ominaisuudet korreloivat keskenään ajan mittaan. Tuotekehityksen alituisena ongelmana on optimoida toiminnalliset ominaisuudet ja kulutuskestävyys. Teolliset koemenetelmät antavat hyviä tuloksia, mutta ne eivät vielä kerro mikä on kehityksen suunta pitimmällä aikavälillä. Luotettavuustekniikka kertoo tämän. Ainoa edellytys on kattava data riittävän pitkältä ajanjaksolta ja tämä merkitsee mittauskohteissa tiemerikintöjen jatkuvaa ylläpitämistä tiedon keräyskautena.

Luotettavuustekniikassa tarkastellaan tiemerikinnän konstruktioita ja sen toiminnallisuuskomponentteja. Konstruktioilla tarkoitetaan eri materiaaleja - maaleja ja massoja. Toiminnallisuuskomponentteja ovat paluuheijastuvuus, luminanssi ja kitka. Tekniikalla selvitetään kuinka luotettavia - käyttövarmoja - tiemerikinnät ovat. Saadulla tiedolla voitaneen tehdä todelliseen tietoon perustuvat päätökset. Tiedetään mitä eri materiaaleilla tehty merikinnät maksavat ja milloin merikintä kannattaa tehdä minkälaisilla materiaaleilla ja toteutuksella. Tässä toteutuksella tarkoitetaan merikinnän konstruktioista rakennetta.

Tiemerikinnän käyttövarmuuden parantaminen

Tiemerikintöjen kannalta käyttövarmuuden parantamisen keskeisimmät tavoitteet ovat mahdollisimman pitkä elinikä ja mahdollisimman alhaiset kustannukset. Käyttövarmuutta voidaan periaatteessa parantaa neljällä tavalla:

1. Kehittämällä merikinnän rakennetta, esim. kerroksittaisuutta.
2. Parantamalla levityslaitteiden ja komponenttien ominaisuuksia
3. Lyhentämällä merikinnän kuolleenaoloaika
4. Parantamalla huollettavuutta ja huoltovarmuutta

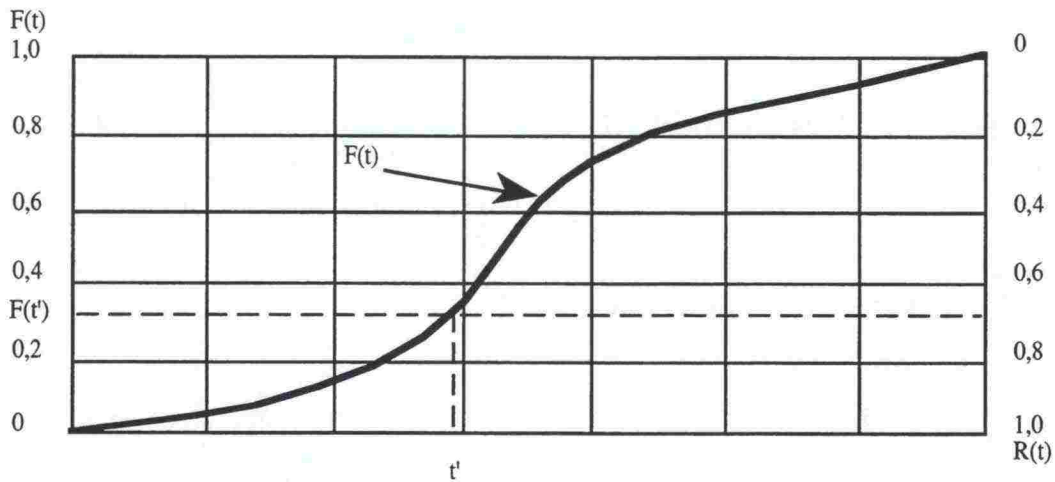
Rakennetta voidaan parantaa merikinnän paksuudella, lamelloinnilla tai erilaisilla kerroksilla, kuten maalamalla paksun kuuma- tai komponenttimassan päälle tavallista ohuempi maalikerros, jonka tarkoituksena on vain sitoa helmet. Luminanssi ja väri tulisi olla olevasta materiaalikerroksesta.

Laitteiden ominaisuuksia, hyödynnettävyyttä ja suoritusarvoja voidaan parantaa teollisen koesuunnittelun avulla. Toiminnallisuuskomponenttien esim. paluuheijastuvuuden parantaminen käytännössä tapahtuu käyttämällä puhtaista materiaaleista valmistettuja lasihelmiä ja joiden levitys on suunniteltu; käytetty arkkitehtuuria sirotteen suunnittelussa.

Merkinnän kuolleenaoloaika eli uudelleen merkintään kuluva aika voidaan lyhentää esivalmistelulla, tiedonkeräyksellä ja -välityksellä sekä takamalla materiaalien saatavuus.

Tiemerkinnän tai toiminnallisuuskomponentin luotettavuus

Luotettavuutta lähdetään laskemaan seuraamalla aivan uusien merkintöjen jokaista ominaisuutta. Aloitusaikankohta merkitään $t = 0$ ja riittävän lyhyellä aikavälillä seurataan kulumisen kehittymistä. Mitattavat kohdat merkitään näkyvästi ja pidetään vakioina koko datan keräämisen ajan. Merkitään kunkin mittapisteen tila ja näin saadaan toiminnallisuusasteen kertymä, josta piirretään käyrä. Käyrä $F(t)$ esittää kuhunkin ajankohtaan mennessä kuolleiden komponenttien suhteellisen lukumäärän, joka on murto-osa luvusta N .



Kuva tiemerikinnän tai yhden komponentin kuolleisuuskertymästä $F(t)$ ajan suhteen.

Kun tiemerikintä tai komponentti on sarjasta kuollut, saa $F(t)$ arvon yksi (1). Kertymäkäyrän perusteella voidaan ennustaa myös koejoukkoon kuulumattoman samanlaisen komponentin todennäköinen kuoleentumisalttius. Tässä $F(t)$ on kuolleisuuden kertymä. Todennäköisyys (P), että komponentti kuolee ennen hetkeä t' , on $F(t')$ ja todennäköisyys, että se kuolee vasta hetken τ' jälkeen on $1 - F(t')$. Jos aikaa kuoleentumiseen merkitään t , niin todennäköisyys komponentin kuoleentumisajalle on $\tau < t$. Kertymä saa näin kaavan:

$$F(t) = P[\tau \leq t]$$

Se, että komponentti ei vioitu ennen hetkeä t , on sen tähän hetkeen ulotettu luotettavuus R :

$$R(t) = 1 - F(t) = P[t > \tau]$$

Kertymä kertoo myös esim. yksittäisen komponentin epäluotettavuuden:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

Kun lasketaan komponentin kuoleentumisen todennäköisyys aikavälillä $[t, t + dt]$, saadaan se lausekkeesta:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

Komponentin tärkein luotettavuutta osoittava suure on kuoleentumistaajuus $\lambda(t)$. Tämä on se todennäköisyys, jolla komponentti kuoleentuu yksikköajassa t . Tästä

seuraa, että riittävän pienellä ajanjaksolla dt , tulo $\lambda(t) dt$ on arvioitu kuoleentuneiden komponenttien määrä ajan $[t, t + dt]$ sisällä jaettuna ei-kuoleentuneiden määrällä hetkellä t . Tästä saadaan kaava:

$$\lambda(t)dt = \frac{f(t)dt}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)}$$

Integroimalla äskenen yhtälö, saadaan:

$$F(t) = 1 - [1 - F(0)] \cdot \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$$

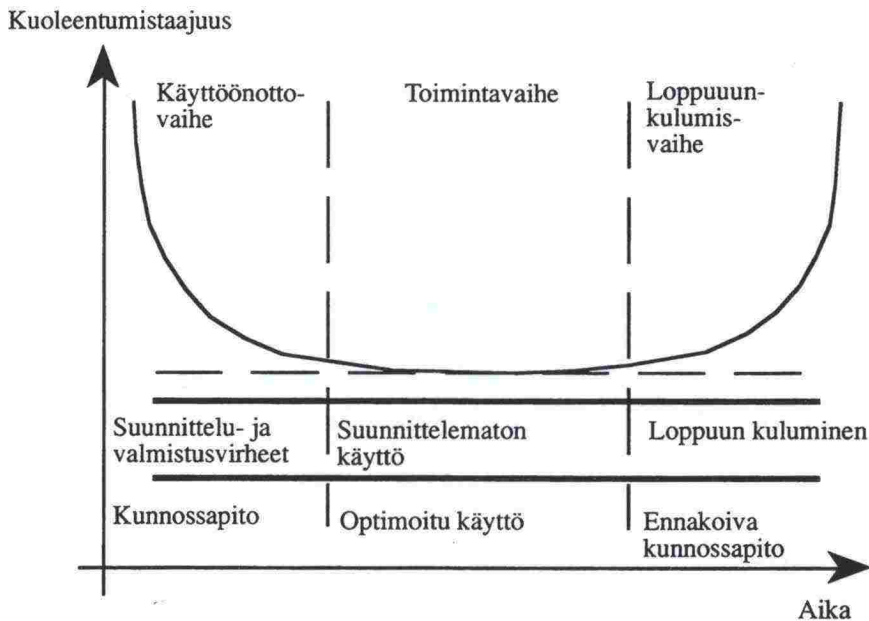
Jos lähdetään siitä, että tiemerikintä tai yksi sen komponenteista on ehjä, niin luotettavuus on:

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$$

Tämä yhtälö esittää luotettavuuden $R(t)$ ja kuoleentumistaajuuden $\lambda(t)$ välisen yhteyden. Silloin kuoleentumistaajuus voidaan esittää myös seuraavassa muodossa:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

Kuvaajaa funktiosta $\lambda(t)$ kutsutaan ammekäyräksi.



Ammekäyrän lisäksi on esitetty mistä tekijöistä tiemerikinnän kuoleentumistaajuus muodostuu. Käyttöönottovaihe kattaa sellaiset merkinnät, joita ei ole päästy suunnittelemaan kunnollisen tiedon puutteen takia. Siksi niiden käyttö muodostuu epätaloudelliseksi. Käyrä laskee lyhyessä ajassa voimakkaasti. Kuoleentumistaajuutta voidaan pienentää merkinnän elinjakson aikana valitsemalla käyttöolosuhteita vastaava merkintä toimintavaiheen ajaksi, kunnes optimaalinen sovellus on tarjolla. Tällöin kummassakin tapauksessa ammeen pohja syvenee ja päästään optimoituun käyttöön.

Kuoleentumistaajuus käyttäytyy ajan funktiona kolmella eri tavalla:

1. Vakiokuoleentumistaajuus, jolloin komponentin elinikäjakauma on eksponentiaalinen (toimintavaihe).

2. Kasvava kuoleentumistaajuus, joka voi olla seurausta, esim. materiaalin voimakkaasta peseytyvyydestä tai halkeilusta, jonka seurauksena väliin on päässyt likaa tavallista enemmän.
3. Laskeva kuolleisuustaajuus on tyypillisesti seurausta joko valmistus- tai levitysvirheestä (irtoaminen pohjasta tai komponenttimassoissa väärä kiihdyttimen/kovettimen suhde ja väärä sijainti ajogeometriassa esim. nuoli).

Käytännössä on kuitenkin niin, että toiminnallisten komponenttien kuoleentumistaajuus usein sisältää kaikki edellä mainitut vaiheet ja sille ei mahda mitään. Virheistä huolimatta komponenttien elinikä voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen ja kuoleentumistaajuus on tyypillisesti ammekäyrän muotoinen.

Voidaan mitä todennäköisimmin olettaa, että kuoleentumistaajuudet eri komponenteille ovat suurimman osan käyttöiästä suhteellisen vakioita, joilloin vakiokuoleentumistaajuudella on varsin keskeinen merkitys luotettavuusteoriassa. Merkittävää on myös se, että kuoleentumistaajuuden ottaminen vakioiksi yksinkertaistaa laskutoimituksia. Käytännössä tämä merkitsee, että eri komponenttien kuoleentumistaajuutta seuraamalla voidaan arvioida kuoleentumistodennäköisyys - kunhan mittaukset tapahtuvat suurin piirtein keskenään samanlaisissa olosuhteissa (pilvipouta, suurin piirtein sama ilman lämpötila ja kuiva tien pinta) - ja uudelleenmerkintöjen toteutus voidaan ajoittaa optimaaliseen ajankohtaan. Näissä olosuhteissa komponentin luotettavuutta voidaan kuvata seuraavasti:

$$R = \exp(-\lambda t)$$

Komponentin keskimääräinen kuoleentumisaika MTBF (Mean Time Between Failure) on komponentin kuoleentumiseen kuluva odotusaika. Se lasketaan seuraavasti:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

Merkinnän levityshetkellä $t = 0$, $R(t) = R(0) = 1$ ja $R^{\infty} = 0$, joten:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Jos kuoleentumistaajuus on vakio, on kuoleentumisaika keskimäärin $MTBF = 1/\lambda$.

Komponentin käytettävyys $A(t)$ on se todennäköisyys, jolla komponentti on käyttökunnossa tietyssä hetkenä t . Ennen ensimmäistä kuoleentumista $A(t) = R(t)$, mutta yleisesti $A(t) > R(t)$. Tästä voidaan johtaa käytettävyys:

$$A(t) = \frac{t_1}{1 + \frac{t_2}{t_1}}$$

, jossa t_1 on toiminta- ja t_2 on uudelleenmerkintäaika summa, miten ne nyt sitten halutaan kulloisessa kustannuslaskentaympäristössä määritellä.

Järjestelmän luotettavuus

Tähän asti merkintää on tarkasteltu niin, että jokainen toiminnallisuuskomponentti on ollut ikäänkuin itsenäinen, toisesta riippumaton tai että merkintä, joka muodostuu useista toiminnallisuuskomponenteista käsitetään yhdeksi kokonaisuudeksi. Mutta, jos merkintä nähdäänkin sarjaksi komponentteja ja, että yksi komponentti kuolee, niin silloin kuolee koko merkintä. Tällöin lasketatapa muuttuu. Tätä varten on selvitettävä merkinnän konstruktiivinen rakenne ja toiminta, komponenttien kuoleentuminen sekä rakennettava järjestelmällinen luotettavuusmalli.

Kun arvostelun lähtökohtana on se, että merkinnän toiminnallisuus on yhtä hyvä kuin sen heikoin lenkki, tarkastellaan merkintää sarjarakenteena.

Luminanssi ja paluuheijastuvuus voidaan katsoa sarjaan kuuluvaksi, sillä luminanssilla on suora yhteys paluuheijastuvuuteen, mutta kitka voidaan luokitella muista riippumattomaksi. Näinollen sarjarakenteen luotettavuus on komponenttien luotettavuuksien tulo. Mikään ei kuitenkaan estä tarkastelemasta luminanssia ja paluuheijastuvuutta toisistaan riippumattomina. Tämä tilanne tulee erityisesti kyseeseen valaistuilla tieosuuksilla, jolloin paluuheijastuvuudella ei ole merkitystä, vaikka helmiä olisikin massassa. Lauseke muodostuu seuraavaksi:

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

Sarjarakenteen kuoleentumistaajuus on vastaavasti sen kuoleentumistaajuuksien summa:

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

Erityisesti silloin, kun komponentit ovat luotettavuudeltaan samankaltaisia, kuten voi olla tilanne valkoisella tiilellä ja keraamisella tiemerikintänastalla, on:

$$R(t) = [R_i(t)]^n$$

$$\lambda(t) = n\lambda_i(t)$$

Sarjarakenteen luotettavuus on aina pienempi kuin sen epäluotettavimman komponentin luotettavuus. Jos kuoleentumisajat ovat jakautuneet eksponentiaalisesti, kunkin komponentin vikataajuus on vakio $\lambda(t) = \lambda_j$ ja koko sarjarakenteen luotettavuus on:

$$R(t) = \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i \right)$$

Tällöin rakenteen keskimääräinen kuoleentumisaika on:

$$MTBF = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

Järjestelmää, joka toimii niin kauan kuin yksikin sen komponenteista on toiminnassa, sanotaa rinnakkaisrakenteeksi. Tämä tarkastelu tulee kyseeseen silloin, kun halutaan esim. vain kulutuskestävyyttä. Kulutuskestävyys tulee oleelliseksi valaistulla kaupunkialueella ja, kun vaihtoehtoina ovat mm. valkoinen tiili, tiemerikintänasta tai upotusmerikintä muodossa tai toisessa tai jokin näiden yhdistelmistä.

Esimerkiksi suojatie voidaan rakentaa valkoisista tiilistä ja reunustaa nastoilla. Silloin tiiliä ja nastoja voidaan tarkastella suojatiemerikinnän kannalta rinnakkaisena komponenttirakenteena. Tällöin merikinnän epäluotettavuus on komponenttien epäluotettavuuksien eli kuoleentumisien tulo. Tämä on oleellinen tieto, kun suunnitellaan merikinnän ja asfaltin pinnan tai tiilien ja nastojen uusinnan ajoitusta. Tarkoituksena on uusimisen kohdentuminen samaan ajankohtaan niin, että kaikki kohteet olisivat suhteellisen yhtäläisessä kunnossa. Kaava on:

$$F(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t)$$

Rinnakkaisrakenteen luotettavuudelle saadaan yhtälö:

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)]$$

Rinnakkaisrakenteen luotettavuus on suurempi kuin yhdenkään sen komponentin luotettavuus. Jos rinnakkaisrakenteen kaikki n komponenttia ovat identtisiä ja niiden kuoleentumistaajuus on vakio λ , sen luotettavuus on:

$$R(t) = 1 - [1 - \exp(-\lambda t)]^n$$

Samoilla edellytyksillä saadaan keskimääräiselle kuoleentumistaajuudelle lauseke:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$$

Tapauksissa, joissa komponenttien kuoleentumistaajuudet eivät ole yhtä suuria, mutta ovat vakioita $\lambda(t) = \lambda_i$, rinnakkaisrakenteen luotettavuus on:

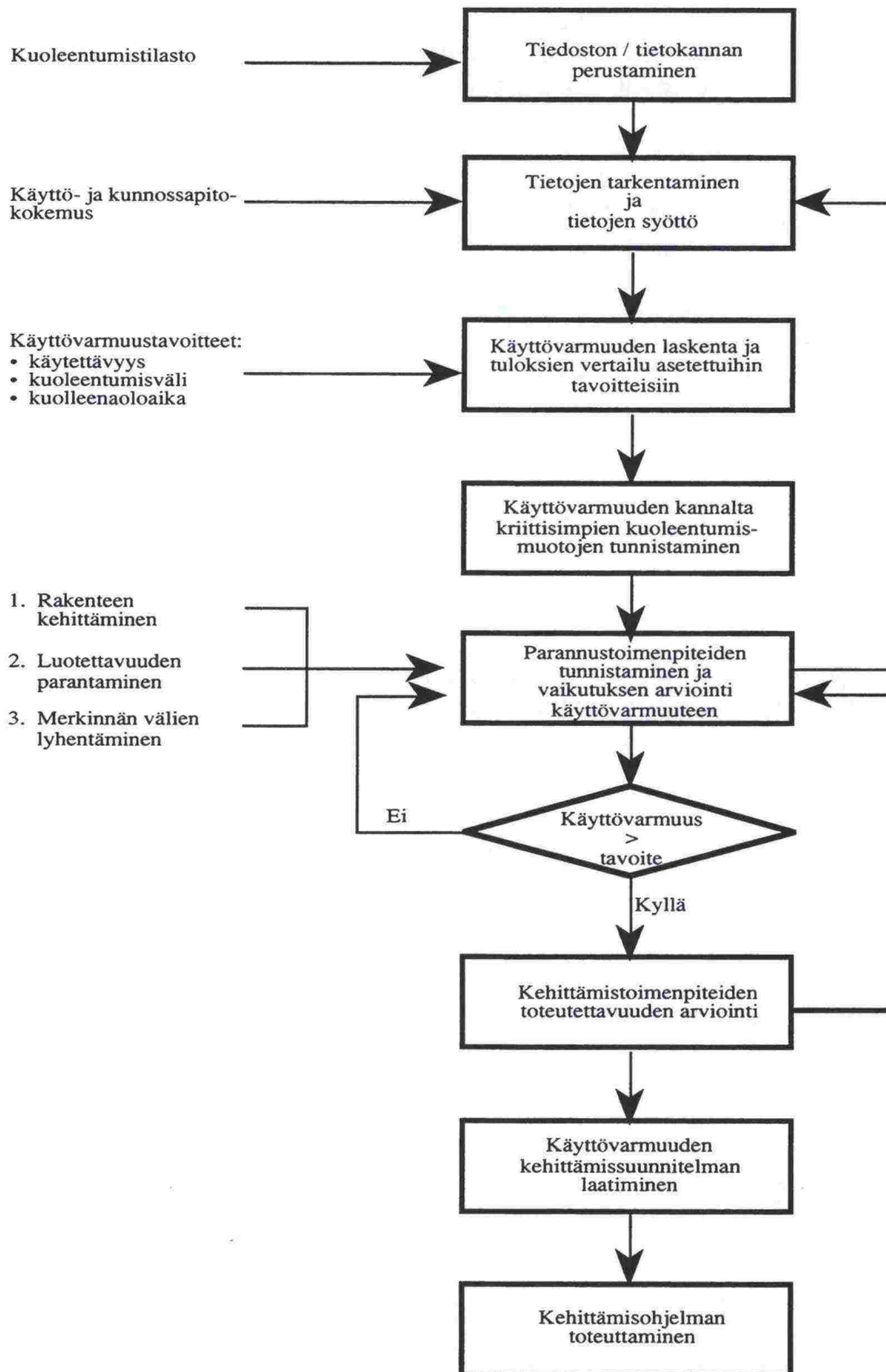
$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - \exp(-\lambda_i t)]$$

Tällöin kuoleentumisikä ei koko rakenteen kohdalla jakaudu eksponentiaalisesti.

Luotettavuustekniikan soveltaminen

Luotettavuustarkastelut kohdistuvat aina tarkoin määriteltyyn kohteeseen, joka voi olla fyysisen tiemerikinnän lisäksi organisaatio (kunnossapito, urakoitsija, jne). Olennaista luotettavuustarkastelussa on se, että tarkasteltavaan kohteeseen voi tulla, häiriö, vika tai merikinnässä kuoleentuminen. Kohde ei ole enää tavoitearvossaan - se ei täytä asetettuja toiminnallisuusvaatimuksia. Luotettavuusanalyysi on kokonaisselvitys, jonka osavaiheissa käytetään hyväksi yhtä tai useampaa luotettavuustekniikan menetelmää. Luotettavuustekniikat katsotaan kuuluvaksi olennaisena osana laatu järjestelmiin.

Käytännössä edellinen järjestys toteutuu vaiheistettusti seuraavasti:



Kaavion käyttövarmuus-kohdassa syntyneitä tietoja käytetään hyväksi päätettäessä uudelleenmerkinnän tarpeellisuudesta. Parannustoimenpide-kohdassa tehdään päätös esim. merkinnän kerroksittaisesta rakenteesta (massa + ohut maalaus) tai uudelleenmerkinnän tiheämmästä ajoituksesta.

Sekä laadullinen että määrällinen analyysi toteutetaan vaiheistetusti seuraavasti:

1. Lähtötiedon kerääminen ja keskeisten ongelma-alueiden kartoitus

2. Yksityiskohtainen vaaratekijöiden, laitevikojen tai tässä kuoleentumisien tunnistaminen
3. Tapahtumaketjun laatiminen mallinnuksen avulla (visualisointi)
4. Riskien suuruuden arviointi ja lajittelu tärkeysjärjestykseen (Pareto-menetelmä)
5. Toimenpiteiden tarpeellisuudesta päättäminen ja toimenpidevaihtoehtojen vertailu
6. Toteutussuunnitelman laatiminen

Luotettavuusanalyysin tavoiteasetanta ja sen laajuus riippuvat seuraavista tekijöistä:

1. Analyysin kohteeseen sisältyvien riskien ennakoidusta suuruudesta (merkintä toimii koko ajan / merkintä on välillä kuollut halutun ajan) ja kyseisen arvion laadinnassa käytettyjen lähtötietojen saatavuudesta ja niiden luotettavuudesta,
2. käytettävissä olevasta ajasta,
3. henkilö- ja taloudellisista resursseista ja
4. tärkeimpien sidosryhmien kiinnostuksen kohdistumisesta ja määrästä (painostusryhmät, sanktiot, imago, jne.).

Liite 1

Suunnitteluvälineet ja -menetelmät

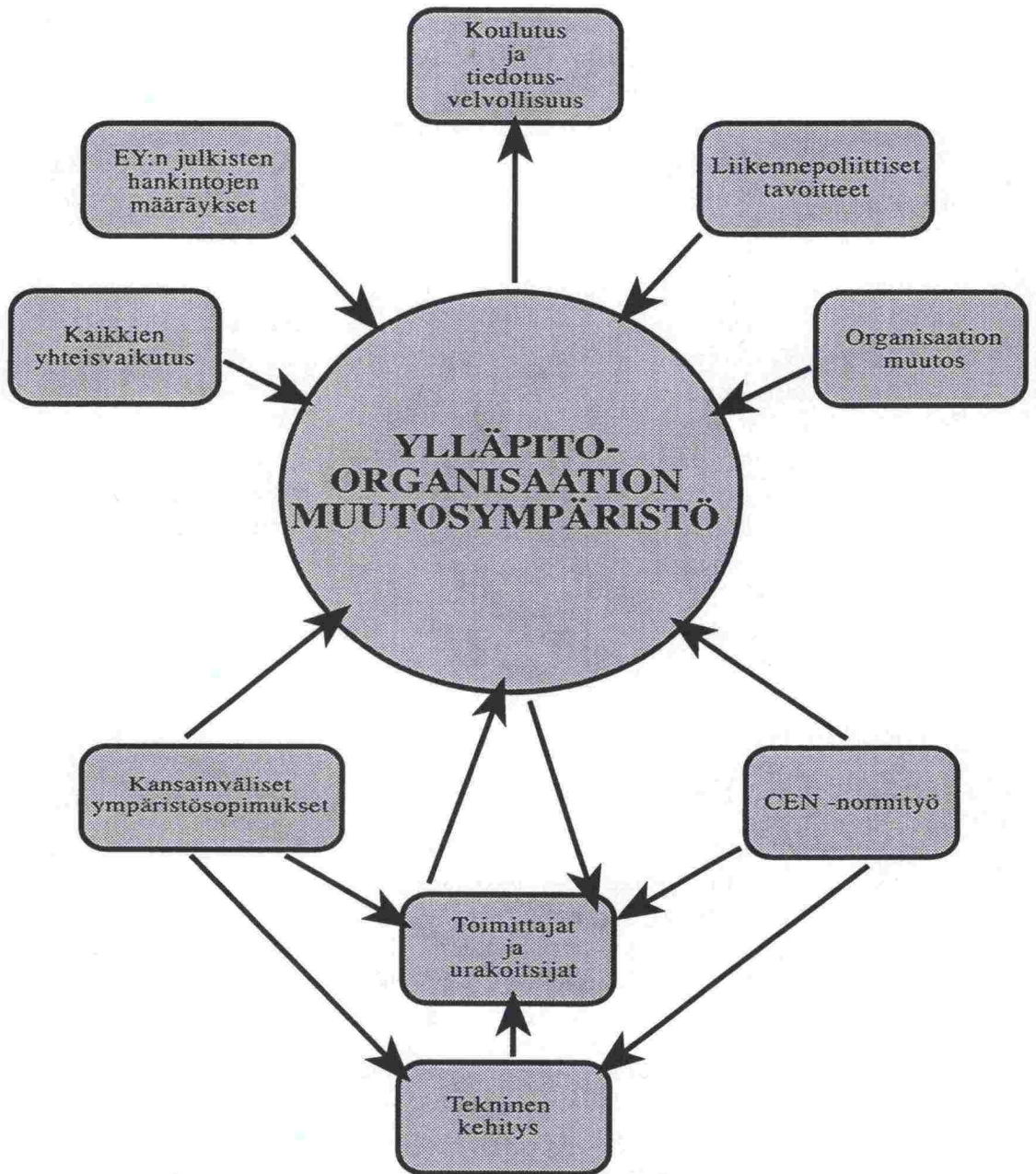
Käsiteltävien aiheiden tarkoituksena on antaa ymmärrystä siitä kokonaisuudesta, joka liittyy toiminnallisuuden saavuttamiseen. Tässä selitetään, että toiminnallisuus edellyttää laatua, kuvataan mitä laatu on ja miten se saavutetaan. Laatu on erittäin suuri kokonaisuus ja siksi on oleellista kuvata mahdollisimman laajasti asiaan liittyvä ympäristö, jotta lukijalla olisi mahdollisuus saada ote. Laatu, josta toiminnallisuus on osa, on yksinkertainen asia. Vaikeasti ymmärrettäväksi sen tekee tarkastelun lähtökohdat, jotka poikkeavat kulttuurimme perusteista. Laatu edellyttää länsimaisesta (anglo-amerikkalisesta) ajattelutavasta luopumista ja yhteiskunnallisen vastuunoton ja kestävä kehitysopin hyväksymistä. Vaikeutena on myös se, että laadun ja toiminnan kehittäminen johdattaa väkisin yksilön tarkastelemaan itseään kriittisessä valossa. Tämä vaatii yksilöltä henkisiä voimavaroja ja kykyä hyväksyä itsensä. Tätä ominaisuutta ei kaikilla ihmisillä ole. Laatu syntyy jokaisen yksilön panoksesta, niin vaikealta kuin se kuulostaakin. Laadun saavuttaminen vaatii paljon toimivia ihmissuhteita ja tukea toinen toiselta.

Laatu ei ole laatukäsikirja eikä ISO9000 -todistus seinällä. Laatu on elämäntapaa, toimintaa, menetelmiä, teknologiaa ja ihmisiin vaikuttamista tai paremmin ajattelun johtamista. Laatu on ilmaista!

Ympäristömuutoksen vaikutukset

Useassa tämän kirjan kohdassa viitataan suunnittelun työkalujen puuttumiseen sekä sopimattomiin tai kehittymättömiin johtamisvälineisiin. Tiemerikintöjen vaatimustaso ja suunnittelu- sekä johtamisvälineet ja -tavat on kaikkien oltava samalla tasolla keskenään. Jos näin ei ole, niin tilannetta voisi verrata CD-levyn soittamiseen tavallisella levysoittimella ja se ei onnistu millään. Levy pyörii vaikka ääni on olemassa. Se ei vaan kuulu ja äänivarsi liukuu minne sattuu.

Tässä yhteydessä tiemerikintöjen vaatimustasoon voidaan laskea alati kovenevat ympäristövaatimukset toiminnallisten vaatimusten lisäksi. Ne heijastuvat paljon laajemmalle kuin miltä ensisilmäyksellä näyttää ja konkretisoituvat tarpeiden, saatavilla olevien määrärahojen ja resurssien verkottaisina ristiriitoina. Mm. tuottavuusvaatimukset on uusi asia. Tästä syystä suunnittelijat, päättäjät ja toteuttajat kokevat tilanteen vieraana ja sellaisena, josta ei näytä olevan ulospääsyä. Perinteiset keinot eivät pure tai tuottavat ei-toivottua tulosta tai suoranaisia epäonnistumisia. Seuraavassa on lueteltuna joitakin esimerkkejä eri tasoilta: merkinnät epäonnistuvat sekä laadullisesti että määrällisesti ja koneiden ja materiaalien kanssa on töitä hidastuttavia hankaluuksia, merkintöihin varatut määrärahat eivät riitä ja toiminnallisuusvaatimuksia ei saavuteta, töiden ajoitukset ja toteutukset osuvat lähelle toisiaan, töiden suunnittelu venyy ja työmääriä ei tiedetä, budjetointi tapahtuu epävarmoin tiedoin ja ennustettavuus on heikko, määrärahojen jakaminen ei tapahdu merkintä- ja liikenneturvallisuuspoliittisin perustein.



Tässä on pyritty havainnollistamaan muutosympäristön monimutkaisuus. Siitä on havaittavissa, että organisaatio ei vaikuta syystä tai toisesta muutokseen ja siltä ikäänkuin puuttuu aloitekyky.

Tosiasissa teiden kunnossapito-organisaatiot ovat joutuneet kahden yhtäaikaisen tilanteen eteen. Ensiksi: henkilökohtainen ja organisaation muutoksensietokyky on olematon tai hyvin heikko. Toiseksi: organisaation toimintaan on vaikuttamassa ulkopuolisia tahoja, joihin ei aikaisemmin ole ollut kosketusta tai joita ei ole ollut olemassa. Toiminnan kulttuuriympäristö on muuttunut.

Muuttunut tilanne on teitä kunnossapitävän organisaation kannalta kohtalokas. Organisaatioon kytkeytyy yhä selvemmin sidosryhmiä, jotka on otettava mukaan toiminnan suunnitteluun, päätöksentekoon ja toteutukseen. Organisaation kannalta muutoksen ymmärtäminen on elinehto, muutoin sen olemassaolo ja toiminnan rajat asettuvat kyseenalaisiksi.

Itse asiassa samat paineet kohdistuvat kaikkiin niihin julkisen ja yksityisen sektorin organisaatioihin, jotka ovat mukana toiminnan pääprosesseissa. Yksityisellä sektorilla muutospainesiin on helpompi reagoida, koska organisaation koko on henkilömäärältään pienempi kuin teitä kunnossapitävien eikä yksityistä sektoria sido poliittinen ja Tayloristinen virkakulttuuri. Toiseksi yksityisen sektorin on tehostettava sisäistä toimintaa, jotta se takaisi olemassaolonsa muuttuneessa tuoteympäristössä.

Kansallisten etujen mukaista on taata, että liiketoiminta pysyy terveenä ja yrityksillä on edellytyksiä jatkuvaan tuote- ja menetelmäkehitykseen, kuten telealalla. Ostotoiminta on suunniteltava uudelleen niin, että ostajan asettamat toiminnallisuusvaatimukset toteutuvat ja yrityksillä on varaa ja mahdollisuuksia kehittää toimintaansa ja uudistaa kalustoansa. Toimittajalta edellytetään vaatimusten mukaisia tuotteita ja palveluita. Jos vaatimustasoa ei tilaaja osaa asettaa oikein, on turhaa toivoa ja kuvitella, että toimittajat noudattaisivat korkeaa moraalia ja tuottaisivat kunniansa nimissä tilattua parempia tuotteita ja palveluja. Siksi tavoitteellisuuteen on korkeampien ostohintojen kautta panostettava sitä enemmän mitä vähemmän ostaja itse on kehittämässä tuotteita- ja tuotantomenetelmiä. Tästä huolimatta sen on kuitenkin itse kehitettävä jatkuvasti omaa toimintaansa ja osaamista johtamisessa, suunnittelussa, päätöksenteossa ja operatiivisessa toiminnassa. Sen on pysyttävä samalla tasolla itsensä asettamien vaatimusten kanssa.

Muutosten kohdistuminen

Jotta tiemerkinnät vastaisivat vaatimuksia, tulee tuote- ja työmenetelmälaadun nykyisestä kohentua. Prosessi on jatkuvaa. Laadun parannus kasvattaa väistämättä varain käyttöä ja kaikkien osapuolien työhön sitoutuvaa määrää. Jos kasvanutta työmäärää ei hallita, kasvaa ajantarve ja henkilötyövoimaa sitoutuu tarvittavaa enemmän. Pelkkä organisatorinen toimenpide ei ratkaise ongelmaa, vaan johtamismenetelmiä on muutettava ratkaisevasti.

Merkintöjen laatutavoitteisiin ei päästä, ellei merkintöjen nykytilasta, tieosuuksien liikennemääristä ja laadusta ole tietoa. Tiedon kerääminen ja sen analysointi sitoo resursseja. Uusi resursseja sitova asia on myös tiemerkintöjen kunnossapito, joka edellyttää seurantaa ja korjaustoimenpiteitä. Kunnossapito ei muuttuneissa olosuhteissa onnistu laisinkaan silmämääräisesti arvioimalla. On tarkoitus, että tiemerkinnät vastaavat vaatimuksia koko ajan - toki annettujen ilmasto-olosuhteiden mukaan. Tämä tietää suurta panostusta kunnossapitoon. Jos panostusta ei tehdä, ei tiedetä mihin päätöksenteko perustuu ja kustannukset nousevat ilman vastaavuutta ja liikennettä palveleviin kokonaistavoitteisiin päästä. Liioin ei tiedetä koskaan mikä on tavoite. Jokainen tekee ehkä parhaansa, mutta lopputulos on tuntematon.

Toimittajan - urakoitsijan ja materiaalituottajan - kannalta muutos on varsin kattava ja asettaa sen kautta suuria vaatimuksia tilaajalle. Uudet tiemerkintävaatimukset ovat niin merkittävät, että tuotevastuukysymykset voivat ponnahtaa esille milloin vain. Tilattavan merkinnän tulee vastata liikenneolosuhteita. Urakoitsijan tai materiaalitoimittajan on pystyttävä toimittamaan oikeata tuotetta, käyttämään oikeita menetelmiä ja vielä vastaamaan toimituksestaan. Tähän asti käytössä olleet takuehdot eivät toimi enää näissä muuttuneissa laatuvaatimusolosuhteissa.

Tiemerkintöjen kohentuva laatutaso ei ole pelkästään materiaalikysymys, vaan hyvin pitkälle myös menetelmäkysymys. Materiaali- ja menetelmätuntemuksen ja -osaamisen on oltava kaikilla pääprosessiin osallistuvilla paremmalla tasolla kuin mitä se nyt on. Jotta merkintöjä ja niiden käyttöä voitaisiin kehittää ja niiltä osattaisiin vaatia asetettuja ominaisuuksia, valvoa laatua sekä kuntoa, on jokaisen tiedettävä mikä on saavutettavissa ja miten. Tämän osaamisen perusteella voidaan arvostella esim. tuoteominaisuuksia ja hankintahinnan oikeellisuutta. Vastaavasti merkintämateriaalien yksilöllisyys väistämättä korostuu entisestään. Koska jokainen materiaali on oma tuotteensa ja samaan lopputulokseen päästään eri keinoin, on osattava arvottaa eri toteutuksia. Perinteisesti merkintämateriaalit on jaettu maali- ja kestopäällyksiin. Tässä kestopäällykset ovat käsittäneet levitepaksuuksista riippumatta ns. kuuma- ja kylmämassat. Muuttuneessa vaatimustyössä mainittu jako romuttuu ja tilalle tulee kehittää käyttötarkoituksittainen ominaisuusluokitus, jonka sisällä levitepaksuudet ja materiaalit vaihtelevat laidasta laitaan. Tässä yksi esimerkki havainnollistamaan perinteisen jaon ontuvuutta: spray-massa on maalaustekniikalla levitettyä kuumamassaa, joka levitetään maalin paksuiseksi levitteeksi. Rakenteellisesti spray-massa poikkeaa oleellisesti perinteisestä 3mm paksuksi levitteeksi tehtävästä kuumamassasta. Kumpikin ovat selkeästi eri tuotteita, vaikka ovatkin kuumamassoja. Spray-massa on tarkoitettu korvaamaan maali ja siksi spraytä tulee arvostaa maalin mukaan.

Tiemerkintöjen toiminnallisuusvaatimukset muuttavat myös arvomaailmaa - asioiden arvottamista. Tämä edellyttää ottamaan kantaa asioihin, joihin ei ole ennen kiinnitetty huomiota ja joita ei välttämättä ole ollut olemassakaan sellaisena kuin ne nyt tulevat esille. Arvomallien rakentaminen ja hyväksikäyttö tulee oleellisesti lisääntymään. Näistä esimerkkinä ovat käsitteet *asiakas* ja *hintä*.

Asiakkuus

Perinteisesti ajattelutapa on ollut tuotokeskeistä, kun tiemerkinnöiltä vaadittiin kulutuskestävyyttä. Tässä ympäristössä teiden kunnossapitäjä on nähty merkinnän loppukäyttäjänä, koska se on viimeinen tilaus-toimitus-lasku -ketjussa. Merkintöjen toiminnallisuusvaatimukset on tarkoitettu tienkäyttäjää varten, joten teiden kunnossapitäjästä on tullut tienkäyttäjän edustaja. Asiakkuutta tulee näinollen tarkastella asiakassuhteen elinkaaren kannalta ja teiden kunnossapitäjä ei ole enää lenkissä viimeisenä, se vain maksaa korvamerkityn laskun viimeisenä. Tulevaisuuden kannalta on oleellista, että tämä ajattelutapa asiakkuudesta sisäistetään, sillä se on yksi oleellisimmista perusteista, kun tiemaksut yleistyvät. On lähdettävä siitä, että asiakas on se, joka maksaa kunnossapitäjän palkat, koneet ja materiaalit. Toimittajan on palveltava asiakkaitaan heidän ehdoilla. Teiden kunnossapitäjän rooli ei poikkea tässä tilanteessa.

Tuote on perinteisesti nähty kylmänä esineenä, mutta siihen sisältyy muitakin arvoja kuin esineenä tai aineena oleminen. Asiakkaan kannalta tuote muodostuu neljästä erittäin selkeästi toisistaan poikkeavasta elementistä: fyysisestä-, palvelu-, vuorovaikutus- ja symbolisesta osasta. Fyysinen osa on itse esine; tiemerkintä ja sen toiminnalliset ominaisuudet. Palveluosa muodostuu merkinnän luotettavuudesta tehtävässään ohjata selkeästi ja yksiselitteisesti oikein perille sekä siitä, että merkintä on aina olemassa. Vuorovaikutusosa muodostuu tien ja merkintöjen

käyttämisestä. Symbolinen osa antaa tien käyttäjälle kuvan tien kunnossapitäjästä ja sen yrityskuvasta.

Asiakkuus ilmenee kahdella tavalla: sisäisinä- ja ulkoisina asiakkuuksina. Sisäisellä asiakkaalla tarkoitetaan tuotantoketjun seuraavaa lenkkiä. Sisäisiä asiakkaita ovat prosessien eri vaiheet, kuten tilaus/osto, valmistus, varasto, toimitus/kuljetus. Organisaatiotasolla sisäisiä asiakkaita ovat esimies, alainen, myynti, tuotekehitys, tuotanto, organisaation johdon edustajat, hallitus, henkilöstö, omistajat, osakkaat, jne riippuen mistä organisaatiosta on kysymys. Jos organisaation sisällä asiakasta petetään lupauksissa, toimitusviiveellä, epätäydellisellä tai huonolaatuisella tuotteella ja palvelulla, petetään ketjussa seuraavia asiakkaita syntyneen virheen tai vian neliössä. Virheen neliöllisyys johtuu jalostusketjussa tapahtuvasta jalostusasteen kertautuvuudesta. Neliöllisyys muodostuu kunkin osatekijän panoksesta lisättynä synergialla.

Ulkoinen asiakas on organisaation ulkopuolinen intressiryhmä tai sen edustaja - henkilö: tuotteen tai palvelun vastaanottaja, liiketoimintakumppani, kuluttaja, viranomainen, yhteisö, yhteiskunta, teollisuus, jne. Ulkoisen asiakkaan ei tarvitse välttämättä olla välittömässä kosketuksessa organisaation tuotokseen. Esimerkkinä voidaan mainita vakuutuslaitokset, ympäristöviranomaiset, poliittiset päättäjät ja oman maan ulkopuolella olevat maan sisäiseen päätöksentekoon vaikuttavat intressiryhmät (EU, CEN). Maan ulkopuolella olevien mielipidevaikuttajien rooli saattaa kasvaa nykyisestä. Lehdistön osuus voi muodostua varteenotettavaksi tekijäksi joko suoraan tai välillisesti lobbauksen ansiosta.

1993 perustettiin Euroopan tiemarkintäteollisuutta edustava lobbausryhmä, johon kuuluvat perustajajäseninä pohjoismaista ainakin Ruotsista ja Norjasta olevia tiemarkintäalan yrityksiä. Sen tarkoituksena on toimia painostusryhmänä EU:n päätöksenteossa. Lobbausryhmä ajaa vain ryhmässä olevien teollisuusjäsenien mm. protektionismiin perustuvia etuja. Sillä ei täten ole aatteellista ja tieturvallisuutta suoranaisesti edistävää tehtävää.

Hinta

Toiminnallisuusvaatimukset pakottavat muodostamaan kolme eri hinnan arvostusperustetta: ostohinta, laatuksustannus ja arvohinta. Oleellista on päättää mitä hintaa käytetään tiemarkintöjen arvottamiseen. Tähän ei ole yhtä oikeata ratkaisua, sillä päätös on osittain poliittinen ja poliittisella päätöksenteolla saattaa olla ideaalisesta liikennepoliittisesta tavoitteesta poikkeava tavoiteasetanta.

Ostohinta on se, joka merkinnästä tai materiaalista maksetaan laskun mukaan. Tämä ei poikkea perinteisestä hintatarkastelusta. Perinteisesti ostopäätökset perustuvat edullisimpaan ostohintaan. Valitettavasti edullisella ostohinnalla ei aina välttämättä ole mitään yhteyttä asetettuihin toiminnallisuusvaatimuksiin eli laatuavoitteisiin.

Laatukustannus taas sisältää osin pisteytettyjä arvoja, kuten toiminnalliset ominaisuudet, kestoikä, kunnossapito, jokaiseen merkintätyölähtöön sisältyvät kustannukset, kaluston kuoletukset, käsittely koko ketjun aikana, jätteen käsittely ja hävittäminen, ympäristömaksut, tilaus ja laskun maksukustannukset, materiaalin

aiheuttamat erityishuoltokustannukset, poikkeava varastointi, jne. Tiemerikinnän - ja minkä muun tahansa asian - hankinta on nähtävä kokonaisketjuna - elinkaarena.

Arvohinta muodostuu toteutuneista ja toteutumattomiksi arvioiduista liikenneonnettomuuksista laatukustannusten lisäksi. Arvohintaa tulisi käyttää annettujen määrärahojen käytön strategisessa suunnittelussa. Budjetoinnin lähtökohdat voivat vaihdella vuodesta toiseen, esim. seuraavasti: Ensimmäisenä vuotena jo merkinnän piirissä olevilla teillä asetettu toiminnallisuuden vaatimustaso edellyttää 35%:n tasonkorotuksen nykyisestä. Toisena vuotena saavutettu taso pidetään ensimmäisen vuoden tasolla. Liikenneonnettomuuksien määrän kahden vuoden aikana tulee laskea A-luokan teillä 6% sulan maan aikana. Kysymys: Kuinka paljon tiemerikinnät saavat ensimmäisenä ja toisena vuotena rahaa?

Kysymys ei ole vieras eikä kohtuuton, koska teiden pinnoitteen kunnossapidon strategisessa suunnittelussa malli on jo käytössä. Onkin lähinnä kyse siitä, laajennetaanko mallin käyttö koskemaan myös tiemerikintöjä. Analogia kummassakin on täsmälleen sama. Hinnan määritysmallissa on loppujen lopuksi kyse suurista kokonaisuuksista ja riippuu teiden kunnossapidon lisäksi poliittisesta tavoiteasetannasta ja -tahdosta.

Jatkuva kehittäminen

Tiemerikintöjen toiminnallisuusvaatimukset edellyttävät laajaa olosuhteiden ja kokonaisuuksien ymmärtämistä. Tarkastelua on laajennettava merikintämateriaalien ulkopuolelle. Pyrittäessä asetettuihin tavoitteisiin, on alan perustutkimukseen panostettava aivan toisella tavalla kuin tähän asti. Tässä tapa ei tarkoita pelkästään rahamäärän kasvua, vaan sen suuntaamista alueille, joita ei tähän mennessä olla tutkittu laisinkaan tai jos on, niin riittämättömästi. Tutkimuksen ei tule kohdistua pelkästään materiaaleihin, vaan menetelmiin, toiminta- ja tuotantoprosessien mallintamiseen, liikenteen visuaaliseen ympäristöön ja liikennepsykologiaan.

Muuttuneissa olosuhteissa on pystyttävä päättämään kuka rahoittaa tutkimusta minkälaisella panoksella. Jos korkeammat ostohinnat hyväksytään, voidaan materiaalitoimittajilta edellyttää nykyistä suurempaa ja avoimempaa tuote- ja menetelmäkehitystä. Tilanne ei kuitenkaan saa mennä siihen, että vain teollisuus on kehitysvastuussa ja määrää sen suunnan, muuten teiden kunnossapitäjän ohjausvaikutus saattaa menettää merkityksensä ja teollisuus pyrkii korostamaan vaikutusmahdollisuuksiaan. Tästä jaetun tiedon uskottavuus kärsii oleellisesti. Perinteisesti tilaaja on hyvin pitkälle teollisuuden jakaman tiedon varassa.

Oleellisinta on vaatimustason saavuttamiseen vaikuttavat valintaperusteet. Seuraavassa on joitakin muutoksen aiheuttamia pohdinnan aiheita:

- Suhtautuminen tiemerikintöihin on kokonaan muuttunut
- Miten jaettavaan tietoon on suhtauduttava
- Kuinka pitkälle tulee asioita yleistää - etenkin mitä tulee eri materiaalien ja toteutustapojen ominaisuuksiin
- Miten paremmuus saadaan aikaiseksi
- Miten hallitaan muutos ja taataan jatkuva kehitys

Liite 2

Uuden teknologian vaikutus johtamiseen ja toteutukseen

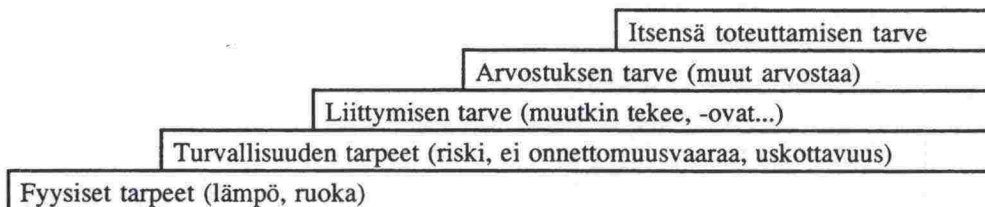
Johtaminen

Tässä keskitytään tarkastelemaan pääasiassa teiden kunnossapitäjien organisaatioon kohdistuvia muutospaineita. Kun organisaation johto on ymmärtänyt asemansa ja tehtävänsä sekä nähnyt organisaation välineen, voi muutoksen vaikuttaa.

Organisaatioon kohdistuvat muutospaineet voivat olla joko sisä- tai ulkolähtöisiä. Sisälähtöisillä muutoksilla tarkoitetaan tässä organisaation itsensä määrittämiä muutoksia, jotka yleensä ovat merkinneet korttipakan sekoittamista uudelleen. Toiminnan tehostaminen on ollut tavoitteena, mutta haluttuihin päämääriin on vaivoin päästy, jos laisinkaan. Ongelmana on ollut se, että ihmiset eivät ole muuttaneet tapojansa, vaikka näin olisi ollut tarkoitus tapahtua. Heille ei liioin ole annettu toiminnan välineitä.

Ulkolähtöiset muutospaineet ovat merkitykseltään kahtalaisia. Joko ne ovat jatkuvasti voimassa, mutta niiden vaikutus pystytään organisaation johdonmukaisen toiminnan kautta estämään tai vaikutusta lieventämään. Näitä paineita ovat asettaneet esim. johtamistrendit ja toimittajien painostus tuotteidensa ja palveluidensa kautta. Yleinen teknologinen kehitys on merkinnyt organisaatioille muutospaineita. Tästä hyvänä esimerkkinä atk:n lisääntynyt hyväksikäyttö läpi koko organisaation tason. Tässä ympäristössä ihmisten muuntumista ei tapahdu laisinkaan tai sitten muuntuminen tapahtuu oman edun ja mukavuuden tavoittelun nimissä. Atk:n käyttö ja sen hyväksyminen on kasvanut sitä mukaa, kun työntekijät ovat saaneet henkilökohtaiset työasemat.

Ulkolähtöiset muutospaineet voivat olla hyvinkin rajuja ja johtuvat yleensä yhteiskunnassa tapahtuvista rakenteellisista muutoksista. Yleensä rajut muutokset synnyttävät lisää muutoksia, jotka kohde - tässä organisaatio - kokee useiden erilaisten muutospaineiden ryöppynä. Näissä olosuhteissa organisaatiolla ei ole suojautumismekanismeja ja yksilöt kokevat muutoksen kohdistuvan heihin. Tällöin henkilö kokee asemansa Maslowin tarvehierarkiassa uhatuksi ja on näin alttiina omaksumaan helposti toimintatapamuutoksia. Yksilön ja organisaation kannalta sopeutumattomuudelle ei ole vaihtoehtoja. Ero yksilön ja organisaation välillä on se, että organisaatio jatkaa toimintaansa muodossa tai toisessa. Yksilö ei ole enää välttämättä mukana, ellei hän sopeudu tilanteeseen ja opi uutta.



Kuva Maslowin tarvehierakiasta. Ihmisen käyttäytymistä ohjaa hyvin pitkälle sen perustarpeet.

Uuden teknologian käyttöönotto voidaan kokea joko suurena tai pienenä mullistuksena. Nykyisissä olosuhteissa, kun tielaitosten organisaatorakenteita ja toiminnan tehokkuutta pyritään parantamaan, voitaneen lähteä siitä ajatuksesta, että organisaatiolla ei ole muuta mahdollisuutta kuin sopeutua tilanteeseen ja ruveta

etsimään perinteisestä huomattavasti poikkeavaa toimintamallia. Tätä ajatuskuviota vasten on syytä tarkastella asiaa ensin teorian pohjalta.

Muutoksessa on osattava eritellä seuraavat elementit:

- Tehtävä: Muodostuu pääprosesseista, ketjusta eri toimintoja aina suunnittelusta kentällä tapahtuvaan toteutukseen asti.
- Ihminen: Prosessissa minkä tahansa tehtävän suorittaja.
- Teknologia: Tekniset apuvälineet ja kalusto kaikessa ongelmaratkaisussa ja työtehtävien toteutuksessa.
- Rakenne: Informaatiojärjestelmät, valtuutukset ja työn kulku.

Edellämainitut elementit ovat suorassa yhteydessä toisiinsa ja jos jossakin niistä tapahtuu muutos, vaikuttaa se välittömästi toiseen.

Yksilö muutoksessa

Riippumatta muutoksen muodosta ja syystä, on yksilön kanssa keskusteltava, jotta tämän toiminnassa tapahtuisi muutos. Isossa organisaatiossa tämä vaatii aikaa ja suuren panostuksen johdolta ja esimiehiltä. Muutos ei onnistu, ellei johto sitoudu omalla panoksellaan päämäärän saavuttamiseen. Johdon ja esimiehien roolin tulee olla näyttävä - heidän tulee uhrautua.

Johdon panostuksen lisäksi muutoksessa, joka itseasiassa on oppimisprosessi, tulee ymmärtää yksilön henkiset resurssit taitojensa kehittämisessä ja käyttämisessä. Muutosvastarinta on mielletty yhdeksi jarruttavaksi osatekijäksi uusien asioiden sisäänaamisessa, mutta mitä todennäköisemmin muutosvastarinta liittyy henkilön taitoihin käsitellä asioita.

Taidot voidaan jaotella seuraavasti:

Muutostaidot: On osattava kestää muuttuvia ja muuttuneita olosuhteita. Jos taitoja ei ole, niin muutos aiheuttaa puutteen määrästä riippuen hämmennystä, pelkoa ja ahdistusta. Muutos vapauttaa ja aktivoi energiaa, joka ohjaamattomana suuntautuu vastustamiseen ja se näkyy asennekriittisyytenä ja muutosvastarintana.

Jos taitoja on riittävästi, niin syntyy ideointia itsessä ja toisissa. Ideoiden syntyprosessin käynnistää koodisanat *miksi* ja *miten*.

Miksi -sana käynnistää alitajunnassa jatkuvasti toimivan analysoivan prosessin ja silloin yleensä katse suuntautuu historiaan, josta on mahdollisuus löytää ainekset oppimiseen. Miten -sana käynnistää luovan ja oivaltavan prosessin, jossa katse suuntautuu tulevaisuuteen ja se antaa mahdollisuuden nähdä miten asiat voidaan tehdä toisin.

Taitoihin kuuluu kyky arvioida nykytilannetta ja saavutuksia. Asioiden mittattavuus edistää onnistumista. Muutostaito antaa kyvyn ja taidot alusta aloittamiseen.

Erimielisyystaidot: On osattava kestää ilmaistua erimielisyyttä ja käsittää erimielisiä ihmisiä. Jotta asioita voisi käsitellä riittävän

syvällisesti, on pystyttävä synnyttämään erimielisyyttä, mutta on myös osattava lepyttää ja antaa anteeksi.

Johtamistaidot: On osattava ottaa johtajuus ja on osattava johtaa ihmisten ajattelua. Tämä on todellista esimiestaitoa ja välineinä ovat todellisuudessa eläminen, rehellisyys, ohjeistus ja linjassa pysyminen, koodisanojen käyttö sekä visioiden kehittäminen. Vaikutussuhteiden solmiminen ja ihmisten arvioiminen ovat johtajuuden avainkysymyksiä.

Ihmissuhdetaidot: On osattava kestää inhimillistä erilaisuutta, keskustella ja solmia suhteita.

Esiintymistaidot: On osattava puhua niin, että kuulijakunta ymmärtää.

Kun muutoksen johtamisessa on ymmärretty edellä mainitut osatekijät ja että ne nivoutuvat yhdeksi kokonaisuudeksi, on huolehdyttävä siitä, että kaikkien oppimiskyky on tavoitteisiin nähden riittävän korkealla tasolla. Yksilön heikko oppimiskyky heikentää suoritusta. Muutosta ja tavoitteita katsottaessa koko organisaation kannalta, on ymmärrettävä myös se, että organisaatio ei ole epämääräinen massa, josta ei saa otetta, vaan että se koostuu yksilöllisistä ihmisistä. Organisaation on muutoksessa panostettava tavoitteelliseen ja johdonmukaiseen koulutukseen, jossa kaikilla organisaation jäsenillä on sama perustason ymmärrys yhteisistä tavoitteista ja niistä keinoista, joilla tavoitteisiin päästään.

Laadun johtaminen - TQM

Kun kaikki edellämainitut asiat on ymmärretty, organisaatio on kykenevä selkeään toimintaan ja omaksumaan uudet toimintamallit. Käytännössä vaihtoehtoisia toimintamalleja ei ole näkyvissä kuin yksi ja se on laadun johtaminen - TQM.

Laadun johtaminen, laatujohtaminen eli TQM (Total Quality Management) ensin käynnistyäkseen ja myöhemmin onnistuakseen edellyttää suurta ymmärrystä siihen liittyvistä asioista. Suurimpia kompastuskiviä mitä koskaan laadun johtamisen piirissä on havaittu kaikkialla maailmassa on, että sitä ei ole otettu kokonaisuutena käyttöön, ylin johto ei ole sisäistänyt laatuun liittyvien asioiden merkitystä eikä ole velvoittanut itseltään mitään, laadun johtaminen ja -tekniikat on mielletty projektiksi aloituksineen ja lopetuksineen, jokin henkilöstöryhmä on jätetty väliin ja laatuun liittyvistä asioista on muodostunut organisaation perustoiminnoista irrallaan oleva elementti.

Laadun johtaminen on itseasiassa sateenvarjo, jonka alle kerätään strategiset ja taktiset johtamisen työkalut. Laadun johtaminen merkitsee montaa asiaa yhtäaikaaisesti. Vaikka siinä on useita koulukuntia, filosofioita ja tapoja päästä tavoitteisiin, on niillä kaikilla yhteisiä periaatteita. Poikkeamia linjasta ei ole, ei edes poikkeuksen vahvistavia sääntöjä. Yksimielisyys vallitsee seuraavista asioista:

1. Tieteellisyys (datan käyttö, looginen päättely, testattavuus)
 2. Tilastolliset menetelmät
 3. Prosessien olemassaolo
 4. Kaikkien osallistuminen - etenkin työntekijöiden
 5. Johdon vastuu
 6. Asiakastyytyväisyys (sisäiset ja ulkoiset)
-

7. Jatkuva toimintojen parantaminen
8. Ongelmien ennakolta ehkäisy
9. Laatukustannukset

Tähän asti tekstissä on puhuttu prosesseista, mutta niitä ei ole määritelty ennen kuin vasta nyt. Prosessi on mikä tahansa toimintaketju ja pääprosessit ovat organisaation päätehtävät. Prosessi on sarja toimenpiteitä, joilla saavutetaan asetettu toiminnan tulos. Prosessi voidaan jakaa neljään hierarkiatasoon: jalostusketjuun, liiketoimintaprosessiin (hallinto, tuotanto, palvelu), työprosessiin (suunnittelu, testaus) ja toimenpiteeseen (ostotilauksen kirjoitus, merkinnän levittäminen). Prosessit ovat poikkiorganisatorisia. Siksi linjaorganisaatio ei pysty tuottamaan laatua.

Laadun koulukuntia voidaan helposti luetella ainakin seitsemän:

<u>Shewhart</u>	painottaa tilastollista ajattelua,
<u>Deming</u>	esittää, että tuotantokoneistossa tapahtuu luonnollista vaihtelua. Tämän lisäksi vaihtelua syntyy satunnais-/erityishäiriöiden perusteella. Prosessilla on tietty laaduntuottokyky. Johdon rooli on erittäin merkittävä. Lisäksi hän on kehittänyt ns. Demingin ympyrän.
<u>Juran</u>	luettelee laatukustannukset. Hän edellyttää laadun suunnittelua, joka tarkoittaa laadun leipomista jo valmiiksi tuotteeseen. Juran esittelee johtamisjärjestelmät ja edellyttää, että kehitystyö tehdään projekteissa.
<u>Ishikawa</u>	edellyttää, että kaikki ovat mukana ja hän esittelee seitsemän laadun työkalua ja laatupiirin. Ishikawan mukaan asiakas ohjaa organisaation pyrkimyksiä.
<u>Crosby</u>	vaatii toiminnan yhdenmukaisuutta, nollavirheitä. Hän esittelee poikkeamakustannukset ja kamppanjoinnin laadun puolesta.
<u>Taguchi</u>	painottaa tekijöiden vaikutusten yhteenlaskeutuvuutta, parametrisuusteisia koemenetelmiä ja organisaation yhteiskunnallista vastuuta. Hän esittelee signaali/kohinasuhteen ja hävikkifunktion.
<u>Shainin</u>	painottaa syyperustaista koesuunnittelua ja sitä, että menetelmät ovat käytännönläheisiä ja loogisia.

Sekä Taguchi että Shainin ovat teollisen koesuunnittelun edustajia. Erona ovat heidän lähestymistapansa ongelman ratkaisuun ja siksi heidät voidaan lukea kuuluvaksi eri koulukuntiin. Sen verran erilaiset heidän lähestymistapansa ovat. Taguchi-menetelmillä prosessi saadaan robustiksi eli häiriöitä sietäväksi, kun taas Shainin-menetelmillä ammutaan ongelmat alas binääritekniikalla niiden merkitysjärjestyksessä. Kummassakin menetelmässä käytetään korkeaa matematiikkaa.

Laadun johtamisessa koulukunnista riippumatta esitetään seuraavat kehittämisperiaatteet pää- ja osaprosesseille:

1. Ei jalostavien töiden osuuden karsiminen.
2. Jalostusarvon kasvattaminen ottaen huomioon asiakasvaatimukset.
3. Prosessien tuotoksen hajonnan vähentäminen.

4. Läpimenoaikojen lyhentäminen.
5. Tuotteiden yksinkertaistaminen.
6. Organisaation jouston lisääminen.
7. Prosessien havainnollistaminen ja visualisoiminen.
8. Kokonaisten prosessien ohjaaminen.
9. Toimintojen jatkuva kehittäminen
10. Tasapainoisten virtojen ja jalostustehtävien kehittäminen.
11. Parhaan ratkaisun etsiminen ja sen soveltaminen.

Laadun johtaminen ei ole minkään erityinen johdon- tai esimiestason työkalu, vaan se perustuu kaikkien osallistumiseen. Se osallistaa eikä aseta eriarvoiseen asemaan ketään. Laadun johtaminen murskaa Tayloristisen ajatuskannan töiden pilkkomisesta pieniin osiin. Tästä luonnollisena seurauksena on organisaatiotasojen raju väheneminen etenkin keski- ja työjohdon kohdalla. Solutyöskentely lisääntyy ja toiminta on hyvin pitkälle itseohjautuvaa. Laadun johtaminen purkaa linjaorganisaatiot ja tilalle kehittyä prosessien johtaminen.

Laadun johtamisen yksi merkittävimmistä työrukkasista on ryhmätyöskentelymenetelmät, joista mainittakoon:

- aivoriihi
- tuumataalkoot
- ideoiden hauduttaminen
- tuplatiimi
- kirjallinen aivoriihi

Laadun johtamisessa hallitaan suuria kokonaisuuksia jopa yksilötasolla ja työn teko perustuu monitaitoisuuteen. Laadun johtaminen säästää luonnonvaroja ja muita resursseja. Investointeja voidaan käyttää kauemmin ja niiden suorituskykyä voidaan nostaa perinteiseen nähden.

Kokonaisuuksien hallitseminen on yleisesti ottaen hankalaa, sillä asiat ovat monimutkaisia ja luonto logaritminen. Vaikka laadun johtaminen sisältää perinteisen liiketoiminnan ja länsimaisen elämäntavan kannalta ns. pehmeitä ja vihreitä arvoja, niin käytännössä se perustuu hyvin pitkälle kylmään tilastomatematiikkaan. Laadun johtaminen on myös insinööritaitoa, mutta ei missään nimessä perinteisessä mielessä.

Laadun johtaminen perustuu laatujärjestelmiin, jotka on tarkoitettu toteuttamaan organisaation rakennetta, jakamaan vastuut, luomaan menettelyohjeet, prosessit ja resurssit. Laadun johtaminen perustuu erilaisiin menetelmiin, joita voidaan käyttää eri tuotannon sektoreille konepajasta palvelusektorille ilman soveltamisia. Se on yksi syy, miksi laadun johtamisen hahmottaminen on joskus vaikeaa. Se on erittäin globaali.

Laatujärjestelmiä on useampia eritasoisia, joista seuraavassa esimerkkejä: ISO9000, josta ISO9001, 9002 ja 9003 ovat standardeja, Suomalainen, Ruotsalainen, Eurooppalainen ja Amerikkalainen laatupalkinto ja Benchmarking. ISO9000 -järjestelmä on pääotsikko ja edustaa laatujärjestelmien alinta tasoa.

Laatujärjestelmät käyttävät hyväksi laatumenetelmiä päämäärien saavuttamiseen. Laatujärjestelmästä riippumatta menetelmiä käytetään kulloinkin tehtävän edellytysten mukaan. Seuraavassa luettelo erilaisista laatumenetelmistä:

- aikasarja-analyysit
- aktiivinen kuuntelu
- auditointi (sisäinen ja ulkoinen)
- haastattelutekniikat
- histogrammi
- janakaaviot
- Kano -malli
- käsiteanalyysi
- laatukaaviot
- luotettavuustekniikat
- parametrisuunnittelu
- pelit
- regressioanalyysi
- Shainin -analyysit
- struktoroitu analyysi
- tarkistuslistat
- valvontakortit
- vika- ja vaikutusanalyysi
- voimakenttäanalyysi
- aivorihi ja muut menetelmät
- arvoanalyysi
- Benchmarking
- hajontakaaviot
- hävikkifunktio
- teollinen koesuunnittelu
- kyselykaavakkeet
- laadun talo
- laatupiirit
- mittauskortit
- paretoanalyysi
- prosessin suorituskyky
- 7 suunnittelutyökalua
- simulointitekniikat
- syy/seurauskaavio
- tuplatiimi
- 5S säännöt
- visiointitekniikat
- vuokaaviot

Yleisen käsityksen vastaisesti laatu järjestelmän olemassaolo ja sen toimivuus organisaatiossa ei ole riippuvainen laatu luokituksesta - sertifiointista. ISO on esitellyt sertifiointin ja se on laadun johtamisperiaatteiden vastainen instituutio. Tilanne näyttää olevan kieroutumassa niin, että sertifiointista tulee tarkoitus ja itse asia unohtuu eli toiminnan jatkuva kehittäminen. Pohjoismaissa puhutaan sertifiointista, mutta jo Euroopassa ja USA:ssa puhutaan rekisteröinnistä. Termeillä on ratkaiseva ero ja se näkyy. Sertifiointi edellyttää ulkopuolista auditointia, mutta rekisteröinti ei edellytä käytännössä mitään. ISO9000 -laatu luokitus ei takaa organisaation toiminnan laatua. Se määrittelee sen tason, jolla organisaatio on. Vasta muut järjestelmät kuvaavat miten organisaatio toimii ja minkälaista laatua se tuottaa ja on perinteisesti ollut velvollinen näyttämään toteen miten se toimii laadun saavuttamiseksi. Aikaisemmin tästä toimintaperiaatteesta seurasi, että toteutukset olivat eriarvoisia ja rima yrityksissä alhaalla. Amerikassa perustettiin lautupalkinto järjestelmä, jonka seurauksena organisaatioiden toiminnan laatu parani huomattavasti.

Lautupalkinto perustuu ulkopuolisen tekemään auditointiin - katselmukseen. Katselmuksen tuloksena organisaatio saa pisteitä riippuen siitä kuinka hyvin se on leiviskänsä hoitanut.

On aiheellista korostaa, että toiminnan laatu on ymmärrettävä myös tuotelaatuna, mutta tuotelaadusta ei puhuta, sillä se on vain yksi osa kokonaisuutta. Laadukasta tuotetta ei synny, jos sen synnyttämiseksi tuotantoympäristö ei toimi tarkoituksen mukaisella tavalla. Perinteisten toimintatapojen on muututtava läpi koko ketjun ja tämä on suoraan johtamiseen liittyvä asia. Yksittäinen henkilö tai joku ryhmittymä jossain ketjun kohdassa ei voi saada mitään näkyvää aikaiseksi yhteenlaskeutuvuusperiaatteen takia. Prosessien tuotos muodostuu yksittäisten panosten kertautumisesta, ei algebrallisesta summautumisesta.

Prosessien tehokkuutta mitataan mm. seuraavilla tunnusluvuilla:

- tuottavuus = jalostusarvo / kustannukset
- projektin läpimenoaika
- tarjouksen läpimenoaika
- vastauksen kesto reklamaatioon
- kustannukset / suunnittelu
- työtunnit / suunnittelu
- toteutunut aikataulu / suunniteltu aikataulu
- "sählyskustannukset" (etsiminen, paikan järjestäminen, odotus)
- korjauskustannukset
- virheiden määrä
- korjaukset toimituksen jälkeen
- lähtöinformaation täydellisyys
- sidotun pääoman kiertonopeus
- projektin kate
- projektin kassavirta
- muutosten määrä projektin aikana
- projektimiehityksen vaihtuvuus
- auditoinnin tulos
- prosessiin tehtyjen parannusten määrä
- projektiin osallistuvien ilmapiirikartoitus
- projekti-istuntojen tehokkuus
- siisteysindeksi (TUTTAVA, 5S)

Asiakastyytyväisyyttä mitataan mm. seuraavilla tunnusluvuilla:

- uudelleenostot
- markkinaosuus
- tilaukset / tehdyt tarjoukset
- tilauskanta / tarjouskanta
- hävittyjen kauppojen määrä / tehdyt tarjoukset
- huoltosopimukset / toimitukset
- muutosten määrä tarjouksiin
- muutosten määrä tilauksiin
- muutosten määrä laskuihin
- asetettujen vaatimusten toteutuminen
- toimitusten täydellisyys
- myöhästymissakot
- tilatut muutostyöt
- asiakkaan yhteydenottojen määrä
- takuukustannukset
- huoltokäyntien määrä
- käyttöaste
- käyttöhäiriöt

Miten tämä kaikki sitten liittyy tiemerikintöihin, toteutuksiin ja laitteistoihin. Selitys on yksinkertainen: laatu. Tiemerikinnöiltä edellytetään laatuominaisuuksia ja jotta ymmärretään mitä laadulla tarkoitetaan ja miten laatuun päästään, on ymmärrettävä mistä kaikista ominaisuuksista laatu muodostuu. Toivottavasti tämä on toistaiseksi pystynyt valaisemaan minkälaisesta kokonaisuudesta tässä on kaikenkaikkiaan kysymys.

Laatu

Laatua tuottavat ihmiset ja he kehittävät tuotteita ja käyttävät koneita, joilla on oma yksilöllinen laaduntuottokykynsä. Jotta laatutekniikoita voi käyttää hyväksi, on ymmärrettävä mihin ne perustuvat, miten ne toimivat ja mihin niitä käytetään. Laatua varten on kehitettävä ympäristö, jossa sitä voidaan toteuttaa.

Laadun kuuluisin määritelmä kuuluu seuraavasti:

Tuotteen laatu on tuotteen (minimi) kokonaishävikki, joka tuote aiheuttaa yhteisölle sen jälkeen, kun se on lähetetty tuotantolaitoksesta. (Taguchi)

Määritelmää voidaan havainnollistaa seuraavan esimerkin valossa:

Varas, joka vie toiselta rahaa ei ole yhtä suuri varas kuin se yritys, joka valmistaa huonolaatuista tuotetta. (Taguchi)

Miten tämä on mahdollista? Jos varas vie 100,- toiselta, on raha vielä olemassa. Se on siirtynyt vain taskusta toiseen, mutta yhteiskunta ei ole menettänyt mitään. Mutta jos yritys on tehnyt huonon tuotteen, joka ei toimi tai sitä ei voi käyttää, on yritys tuhlanut resursseja: raaka-aineita aina lähteiltä asti, ihmisten työtä vastaavan ketjun matkalta ja saanut aikaiseksi sen, että loppukäyttäjä joutuu hankkimaan uuden tuotteen kokonaan hajonneen tilalle tai ainakin korvaamaan omasta taskustaan korjaamiskulut tai toimittaja korvaamaan palautus- ja korjauskulut, jotka muodostuvat eri resurssien käytöstä. Tämä tulee yhteiskunnalle erittäin, erittäin kalliiksi. Muovikelmu, jolla suojataan sato kevään kylmiltä öiltä, voi tuotannossa tehdyistä vain yritykselle kohdistuneista säästöistä johtuen rikkoontua kovassa tuulella ja sato menetetään. Tämän lisäksi kelmua ei voida enää käyttää mihinkään ja sen hävittäminen on ongelmallista. Siinä häviävät kaikki.

Varasesimerkkiin rahan ja muovikelman tilalle voidaan sijoittaa tiemarkinta ja loppukäyttäjäksi tienkäyttäjä. Varkaan vaatteet saavat kaikki ne, jotka osallistuvat tiemarkintojen tuottamiseen.

Laatukonsepti perustuu taas ajatukseen, että kaikki voittaa.

Laatutekniikoiden käyttö tiemarkinnoissa

Kun tavoitteena on toiminnalliset laatuvaatimukset täyttävät tiemarkinnat, Taguchi filosofiana ja menetelmänä sopii erittäin hyvin tarkoituksen saavuttamiseen. Tämä ei kuitenkaan estä muiden tekniikoiden hyväksikäyttämistä, mutta se ei olekaan filosofiakysymys. Taguchi painottaa hyvin voimakkaasti organisaatioiden yhteiskunnallista vastuuta.

Tästä eteenpäin esiteltävät laatutekniikat soveltuvat mille tahansa ketjun kohtaan.

Ensin on teroitettava joitakin erittäin tärkeitä laadun perusasioita:

1. Toleranssit ovat insinöörien keksimät rajat. Kun rajat ylittyvät, tapahtuu susittaminen. Kyseessä on keinotekoinen raja, jonka avulla on pyritty hallitsemaan luonnollista vaihtelua. Toleransseilla ei ole mitään yhteyttä laaduntuottokykyyn. Toleranssi ei ole liioin hyvyyden tai laadun mitta. Näistä syistä laatutekniikat eivät käytä toleransseja elleivät ne ole asiakkaiden määrittämiä arvoja. Toleransseja ei voi käyttää prosessin ohjaamiseen.

2. Vaihtelua tapahtuu kaikessa. Vaihtelu noudattaa erilaisia jakaumia, joista yleisimmin käytetään normaalijakaumaa. Poissonin-, eksponentti- ja binomijakauman käyttö on vähäisempää, sillä niihin liittyvä matematiikka on vaikeampaa. Toisaalta Poissonin-, eksponentti- ja binomijakaumaa pilkottaessa lähestytään normaalijakaumaa. Se, että normaalijakauma on luonnollisesti kallellaan joko oikealle tai vasemmalle, ei laatutekniikoiden kannalta ole merkityksellistä. Siksi laatutekniikat käyttävät pitkälti keskiarvoa ja -hajontaa.
3. Vaihtelu vaikuttaa kaikkeen ja sitä esiintyy mittareissa itsessään ja tuotantoprosesseiden eri komponenteissa. Laatutekniikoiden yhtenä tarkoituksena on selvittää mittareiden ja prosessien sisäinen vaihtelu ja hallita niitä sekä tietää vaihtelun merkitys lopputulokseen.
4. Mittarit on oltava kalibroitavissa ja jos ne eivät ole, niiden luotettavuus on selvitettävissä analyttisin menetelmin. Mittareiden mittaustarkkuutta varten on nyrkisääntöjä.
5. Tutkittavat kohteet on oltava mitattavissa ja virheet toistettavissa.

Kaikki laadunkoulukunnat käyttävät tilastollisia menetelmiä. Syitä on ainakin neljä:

1. Kaikkeen mittaamiseen liittyy satunnaista virhettä. Tilastollisin menetelmin satunnaisuus on hallittavissa.
2. Toiseksi ilmiöiden hallitseminen on mahdotonta. Tilastotiede tarjoaa käyttökelpoisia malleja ilmiöiden hallitsemiseen.
3. Tilastotiede tarjoaa mahdollisuuden ennustaa vaihtelua.
4. Tilastotieteellä on valmiita ratkaisuja näyte-erien ottamiseen, käsittelyyn ja koejärjestelyihin.

Vaihtelu on aiheuttanut ja aiheuttaa jatkuvasti hankaluuksia kaikessa tuotannollisessa toiminnassa. Siksi täsmälleen samanlaisia tuotteita on miltei mahdotonta valmistaa. Tiemerikinnöissä tämä tulee hyvin esille. Vaihtelua voi kylläkin hallita ja vaihteluväliä kaventaa.

Tiemerikintöjen toimivuusvaatimukset käyttävät yhtä laadun määritelmistä: vaatimustenmukaisuutta. Tämä merkitsee, että vain täysin spesifikaatioiden mukainen merkintä on kelpvollinen. Jotta vaatimustenmukaisuus toteutuisi tulee:

1. tuotteet olla valikoitavissa ja tarkastettavissa
2. virheelliset sūusittaa
3. tuotantoprosessit monimutkaisiksi
4. tuottavuus huononee

Koska vaihtelua ei voida poistaa ja silti pitää tuottaa vaatimusten mukaisia merkintöjä, on tämän ristiriidan hallitsemiseksi jouduttu kehittämään erilaisia suhtautumistapoja, joista yksi on tolerointi. Edellä tolerointi hylättiin, joten jäljelle jää prosessin parannustavat, joilla vaihtelua pienennetään.

Jotta vaihtelua voitaisiin pienentää, on ymmärrettävä niiden synty. Vaihtelulla on syynsä, jotka voidaan luokitella ja tunnistaa. Kun tutkii vaihtelua luonnossa tilastollisin menetelmin, niin huomataan, että tuotannossa tapahtuva vaihtelu ei

noudata samoja luonnonlakeja samoja tilastollisia menetelmiä käytettäessä. Tästä on tehtävissä seuraava johtopäätös: "Vaikka jokaisessa prosessissa on vaihtelua, ovat jotkut prosessit hallitussa vaihtelutilassa ja jotkut ei-hallitussa vaihtelutilassa." (Shewhart)

Hallittu vaihtelu on luonteeltaan pysyvää ja ajan suhteen vakio. Ei-hallittu vaihtelu on luonteeltaan epävakaa ja muuttuu ajan mukaan. Tilastollisesti hallinnassa olevalle prosessille on tyypillistä seuraavat piirteet:

1. Samalla prosessilla valmistetut osat eivät koskaan ole samanlaisia.
2. Tietty vaihtelu on normaalia ja se on mitattavissa.
3. Tulokset vaihtelevat luonnollisen hajonnan mukaisesti
4. Prosessin mittaustulokset pyrkivät keskittymään

Tämän konseptin mukaan on kaksi tapaa prosessin parantamiseksi:

1. Prosessin vaihtelu on hallittua eli vaihtelu syntyy prosessista itsestään, joten prosessia itseään on parannettava.
2. Prosessin vaihtelu ei ole hallittua eli vaihtelu syntyy joistakin erityisyyistä, jolla ei ole mitään tekemistä itse prosessin kanssa. Tällöin prosessin parannus tapahtuu löytämällä erityisyyt ja poistamalla ne.

Yleiset syyt eli vaihtelu, joka syntyy itse systeemistä, johtuvat johtamisjärjestelmästä; tavasta johtaa systeemiä. Siksi vain johto voi poistaa ne esim. investoimalla prosessiin osallistuvaan laitteistoon. Yleisten syiden määrä on noin 85%.

Erikoisyydistä aiheutuvat vaihtelut ovat paikallisia ja ne eivät ole osa systeemiä. Niiden olemassaolo on ymmärrettävä epänormaalina. Erikoisyyttä voi aiheuttaa konerikko, uudet säädöt, väärä materiaali, osaamattomuus, jne. Näiden syiden osuus on 15%.

Kun prosessi on saatu vakaaseen tilaan ja siihen vaikuttavat vain yleiset syyt, on vaihtelu hallittua ja tällöin voidaan luotettavasti laskea prosessin suorituskky. Valitettavasti prosessit ovat harvoin täysin hallitussa tilassa ja siksi suorituskkyindeksejä tulee käyttää vain laatuajattelun konkretisoimiseen ja tunnuslukujen määrittämiseen.

Prosessin suorituskky (C_p) määritellään vertaamalla hajonnan suuruutta suurimpaan sallittuun vaihtelurajaan. Vaihtelun keskipoikkeaman tulee olla Gaussin kellokäyrän sisällä, kun keskihajonta on pystyakselina. Tämä merkitsee, että prosessin tuotoksesta 99,7% on mahdollista Gaussin kellokäyrän ureunarajojen sisäpuolelle. Pystyakselin kummallekin puolelle lasketaan kolme yhdensuuntaista aluetta. Näitä rajoja kutsutaan sigmoiksi. Kun hyväksyttävä alue kattaa 99,7% kellokäyrän sisään jäävästä pinta-alasta samotaan, että käytössä on kuuden sigman alue. Ihannealue on keskiakseliin nähden $\pm 1,5$ sigman päässä. Näitä rajoja kutsutaan hälytysrajoiksi. Suurin sallittu vaihteluraja on ± 3 sigmaa. Näiden rajojen ylittyessä prosessi on kaaoksessa ja tuotteet eivät ole laadullisesti toimivia.

$$C_p = (S_{svylä} - S_{svala}) / 6\sigma$$

$S_{svylä}$ = suurimman sallitun vaihtelun yläraja

S_{svala} = suurimman sallitun vaihtelun alaraja

$$\sigma = \text{sigma}$$

Prosessin tulee vaihdella sille ominaisen ylä- ja alavaihteluvälin sisällä. Nämä vaihteluvälit tulee olla suurimpien sallitujen rajojen sisäpuolella. Ongelmaksi muodostuvat mittausvirheet, joiden on mahdollista jälkimmäisten rajojen sisäpuolelle ja ne syövätkin laaduntuottokyvyn vaihteluväliä. Toisin sanoen: tuotantoprosessin laaduntuottokyvyn vaihteluväliä laskettaessa, on mittausvirheet rakennettava suurimman sallitun ylä- ja alarajan sekä ylä- ja alavaihteluvälin väliin. Jos mittaus ei ole kaikin puolin hallinnassa, tuhoaa se mahdollisuudet laadun tuottamiseen.

Prosessi voi olla neljässä tilassa: hallinnassa, rajatilassa, kaaoksen reunalla tai kaaoksessa. Käytännössä prosessit ovat joko rajatilassa tai kaaoksessa. Tällöin johdolla on tasan kaksi vaihtoehtoa: joko jatkaa tolerointilinjalla, jota on jo harjoitettu Amerikan sisällissodasta lähtien siinä kuitenkin onnistumatta. Toinen vaihtoehto on hylätä 200 vuotta vanhat tolerointiopit ja tehdä asiat toisin ja käyttää hyväksi laatuteknikoita sekä aloittaa jatkuva prosessien ja tuotteiden parantaminen.

Laadun johtaminen, tekniikat ja menetelmät eivät valitettavasti tee autuaaksi, ellei jatkuvaa parantamista pidä yllä. Tämä tosiasia unohdetaan valitettavan usein. Jos prosessit jätetään vaille huomiota ja tuudittaudutaan siihen uskoon, että saavutettu tila säilyy, ei johto ole ymmärtänyt mistä laadun tekemisessä on kysymys. Huollotta ja kehittämättä jätetyt prosessit ajautuvat nopeasti hallitsemattomaan kaaokseen. Tilan muutoksen aiheuttaa *entropia* - universaali voima - joka pyrkii siirtämään prosesseja kohti kaaosta. Entropia on loputon ja väistämätön. Jos entropiaa ei olisi, ei olisi Murphys lakiakaan.

Jotta prosessit saataisiin ohjatuksi kohti hallittua tilaa, tulee entropian vaikutukset saada näkyville. Jokaiseen prosessiin liittyy kaksi vaikeutta:

1. kuinka havaita entropian vaikutukset ja
2. kuinka havaita erityisyyden läsnäolo

Entropian työntäessä prosesseja kaaoksen suuntaan, määräväkiksi nousevat erityisyydet. Valvontakorteilla voidaan valvoa prosessin kulkua laaduntuottokyvyn suhteen. Ne toimivat indikaatioiden antajana korjaavien toimenpiteiden käynnistämiseksi. Valvontakortit on käytännössä ainoat tehokkaat ja helppokäyttöiset työkalut prosessin kulunseurantaan. Jos prosesseja ei seurata, ovat ne tuomitut iäiseen kaaokseen. Merkinnöistä tulee mitä sattuu ja koneet tekevät mitä lystävät.

Prosessit on saatava myös sietämään entropian vaikutusta. Ne on tehtävä vaihtelua hyvin sietäviksi - robustiksi. Olosuhteisiin on pyrittävä vaikuttamaan ennaltaehkäisevästi. Näissä tilanteissa voidaan käyttää useampia eri laatumenetelmiä, mutta Taguchi lienee tiemerikintäpuolella sovelluskelpoisin ja seuraava lienee Shainin.

Teollinen koesuunnittelu prosessien kehittämisessä

Koska teolliset koesuunnittelumenetelmät ovat universaalisia, voidaan niitä käyttää minkä tahansa organisaation minkä tahansa prosessin kehittämiseen.

Teollinen koesuunnittelu perustuu maatalouden ja lääketieteen piirissä suoritettuun kehitystyöhön. Kehitystyö alkoi 1920 - 30 -luvulla. Teollisen koesuunnittelun erityispiirteitä on kolme:

1. Kokeessa on pystyttävä testaamaan ja erottamaan ratkaisuun sopivat tekijät ei-sopivista tekijöistä
2. Kokeessa on käsiteltävä suurta määrää tekijöitä (>50 kpl) ja suurta määrää vasteita (>10 kpl) samanaikaisesti. Pääpaino kokeessa on saada aikaiseksi haluttu prosessi yhteenlaskeutuvuuden puitteissa. Kokeilla ei ole tarkoitus saada selville miksi asiat tapahtuvat niin kuin ne tapahtuvat. Jokaiselle kokeelle asetetaan tavoite eli halutaan tietty vastaus.
3. Kokeen analyysien on oltava sopivia, tulosten ymmärrettäviä ja sellaisia, että ne voidaan organisaatiossa kertoa, kokeet eivät saa viedä paljon aikaa eikä ne saa vaatia erityisosaamista tilastomatematiikasta ja analyysien tulee kyetä oleellisen tiedon poimintaan.

Edellisestä voidaan havaita, että kokeen haluttu lopputulos ohjaa kokeen suunnittelua, suorittamista ja analysointia. Tämä ajatusmalli on tieteellisen koejärjestelmän vastainen periaate ja siksi teollista koesuunnittelua ei olla haluttu ymmärtää.

Menetelmä katsoo asioita päinvastaisesta suunnasta, joka tuntuu äkkiseltään oudolta, mutta kun perusteluita menetelmälle lähtee purkamaan filosofian kannalta, palaset putoavat paikoilleen. Ensiksi perimmäisenä tarkoituksena on minimoida yhteisölle koituva hävikki. Materiaalien ja käyttökustannusten on oltava optimissa. Toiseksi tuotteen tai prosessien on tyydytettävä asetetut tavoitteet ja säilytettävä ne. Tämä merkitsee, että tuoteominaisuuksien ja tuotantoprosessin sisäinen hajonta on oltava pieni - keskihajonnan kuvio on erittäin kapea eikä kellomainen. Tuotteiden on oltava ja pysyttävä stabiileina. Kolmanneksi tuotekehitysaika on oltava lyhyt.

Shainin- tekniikalla etsitään kokeellisesti suuresta määrästä muuttujia suurimman virheen tai poikkeaman aiheuttajaa. Tekniikka soveltuu varsin hyvin satunnais-syyperustaisen ongelman ratkaisuun. Tämän tyyppisiä virheitä kaikista virheistä on 95 ... 98%. Taguchiin nähden Shainin etsii suurinta syyllistä ja poistaa sen. Tekniikka perustuu hyvin suuressa määrin binääritekniikkaan ja se käyttää hajontaa ja Pareto-tekniikkaa.

Varsinaisesti Shainin on parhaimmillaan kokoonpaneavassa tuotannossa, mutta soveltuu myös jollain tavoin prosessien säätämiseen silloin, kun prosessi on modulaarinen ja modulit ovat itsenäisiä yksiköitä. Tällöin laitteiden tai prosessien tulee olla keskenään samankaltaisia. Ulostulovasteessa tulee esiintyä hyviä ja huonoja yksilöitä.

Edellytyksenä on, että ulostulovaste on mitattavissa ja toistettavissa. Ulostulovaste tai laite voidaan fyysisesti purkaa ja koota uudelleen ilman merkittävää muutosta suorituskvyyssä.

Tarkasteltaville yksilöille suoritetaan 10 askeleen komponenttitutkimus seuraavasti:

1. Valitaan mieluummin satunnaisesti hyvä ja huono yksilö.

2. Määritetään laadullinen mittari, jolla hyvä ja huono yksilö mitataan.
3. Puretaan hyvä yksilö ja kootaan se uudestaan, jonka jälkeen suoritetaan mitta. Sama toimenpide suoritetaan huonolle yksilölle. Jos yksilöitä on useampia (>3 kpl) kaikkien kolmen hyvän yksilön mittauksien tulokset tulee olla parempia kuin kolmen huonon.
4. Lasketaan testisuure, jonka tulee olla vähintään 1,25:1, jotta voidaan olla vakuuttuneita merkittävien ja toistettavien erojen olemassaolosta hyvien ja huonojen yksilöiden välillä.
5. Teknisen arvioinnin mukaan komponenttikohtaiset ongelmat asetetaan merkittävyyssjärjestykseen, niin että ensimmäisenä on mitä todennäköisin.
6. Vaihetaan tärkeimmäksi arvioitu komponentti hyvästä yksilöstä huonoon, jonka jälkeen kummatkin mitataan.
7. Tehdään testi:
 - a) jos eroa ei ole, hyvä on hyvä ja huono on huono. Komponentti A ei siis ollut tärkeä. Valitaan seuraava komponentti B.
 - b) jos eroa näkyy, mutta se ei ole merkittävä, komponentti A ei ole yksin syyllinen. Valitaan seuraava komponentti C.
 - c) jos kahden kokoonpanon mittauksien tulokset ovat aivan päinvastaiset (hyvä - huono; huono - hyvä), komponentti A saattaa olla syyllinen.
8. Jokaisessa kolmessa kokoonpanovaihtoehdossa palautetaan komponentti A alkuperäiselle paikalle hyvään ja huonoon yksilöön. Näin varmistetaan toistettavuus. Toistetaan testi 5 ja 6 seuraavaksi tärkeimmillä komponenteilla B, C ja D.
9. Lopulta syyllinen tai syylliset löytyvät, kun saavutetaan täysin käänteisiä tuloksia tietyn komponentin kohdalla.
10. Piirretään tekijämatriisi, jossa käytetään tietoa 6, 7 ja 8 kohdissa saaduista tiedoista. Näin määritellään laadulliset seuraukset ja yhteisvaikutukset.

Piirretty kuva kertoo osittaisesta muuttumisesta hyvän ja huonon välillä. Lopulta tehdään konfirmaatiokoe. Tämä on vain pieni osa Shainin-mentelmää. Tällä menetelmällä voidaan selvittää mikä vaikuttaa siihen, että merkitäkoneen sisemmät pistoolit tekevät erilaista jälkeä, kuin uloimmat, vaikka kaikki pistoolit ovat samanlaisia. Tai: miksi samanlaiset maalaus koneet eivät maalaa samalla lailla samaa maalia.

Taguchi-filosofian keskellä on Taguchi-menetelmä ja siksi menetelmää ei voi ymmärtää ellei tunne filosofiaa. Menetelmä on yksi tehokkaimmista suunnittelumenetelmistä ja se yhdistää insinööritietämyksen ja tilastollisen analysoinnin. Kehitys alkoi 1940-luvulla. Sen keskeisenä ajatuksen on etsiä kokeellisesti tuotteen tai prosessin parametreit, joilla halutut suoritusarvot saavutetaan ja joilla samanaikaisesti pienennetään tuotteiden ja prosessien luonnollista vaihtelua sekä alennetaan kustannuksia. Lopullisena pyrkimyksenä on tehdä tuotteista ja prosesseista vakaita tai vahvoja häiriöiden sietoon. Tuotteen ominaisuuksiin vaikuttavien elementtien keskinäisvaikutus pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi. Vaikutusten tulee olla yhteenlaskeutuvia - additiivisia. Yhteenlaskutuvuutta testataan koesuunnittelussa käytettävällä ortogonaalimatriisilla - haravalla - ja konfirmaatiokokeella.

Kokeella tulee varmistaa, että tuote tai prosessi toimii myös normaalissa käyttöympäristössä. Tämä tarkoittaa, että laboratoriokokeissa ei saavuteta oikeita lopputuloksia, sillä siellä olosuhteet ovat valvottuja ja liian säädeltyjä. Asia muuttuu päinvastaiseksi, jos laboratoriolaitteet ovat tuotantolaitteita heikompia ja ympäristöolosuhteet tuotanto-olosuhteita kurjemmat. Siksi kokeet tehdäänkin pääsääntöisesti tuotantolaitteistolla normaaleissa tuotanto-olosuhteissa.

Häiriöiden tunnistaminen on vaikeaa, sillä prosesseihin liittyy aina vaihtelua ja vaihtelu aiheuttaa pohjakohinaa. Joskus pohjakohina on niin voimakasta, että merkittävän signaalin löytyminen on hyvin hankalaa. Tätä varten Taguchi on kehittänyt signaali/kohinasuhteen (S/N -suhde), jonka avulla kokeen sisällä saatuja koetuloksia voidaan verrata keskenään toisiinsa ja etsiä ne parametritekijät, jotka vaimentavat häiriöiden vaikutusta suoritusarvoon.

Jotta tuotteet ja prosessit pystyisivät olemaan laadukkaita, tulee niihin suunnitella laatu sisään. Tämä periaate on voimassa kaikissa laadun koulukunnissa, eikä Taguchi ole poikkeus. Taguchi jakaa suunnittelun kolmeen vaiheeseen, jossa tuotetta tai prosessia optimoidaan: systeemi-, parametri- ja toleranssisuunnittelu. Nyt on huomattava, että Taguchin toleranssilla ei ole mitään tekemistä perinteisen toleroinnin kanssa.

Systeemisuunnittelu käsittää innovoinnin, luovuuden ja yleensä korkean osaamisen soveltamisen. Siinä valitaan materiaalit, osat, laitteet ja sisäiset spesifikaatiot. Systeemisuunnittelussa käytetään QFD -menetelmää (Quality Function Deployment).

Parametrisuunnittelussa testataan ja optimoidaan alustavat systeemisuunnittelussa annetut tekijät ja haetaan niille parhaat mahdolliset yhdistelmät. Tässä vaiheessa määritetään tuotteen tai prosessin osatekijöiden arvot niin, että tuotteesta tai prosessista tulee vahva olosuhteiden aiheuttamia vaihteluja ja häiriöitä vastaan. Tämä vaihe on kaikkein tärkein vaihe laatua parannettaessa ilman, että kustannukset lisääntyvät.

Parametrisuunnittelu on nähtävä irrallisena prosessina ja se on jatkuvaa toiminnan parantamista eikä ole sidoksissa tuotekehitykseen.

Toleranssisuunnittelua käytetään myös vaihtelun pienentämiseen, mikäli parametrisuunnittelulla ei ole pystytty riittävästi tuottamaan tulosta. Toleranssisuunnittelu on ainoa kohta, jossa rahaa "menetetään", sillä usein suunnittelun tuloksena joudutaan parantamaan käytettäviä parametreja - raaka-aineita.

Kuten äskeisestä jo ilmeni, on parametrisuunnittelu keskeisin Taguchin menetelmistä. Sen tavoitteena on määrittää suunnittelijan valinnassa ja ohjauksessa olevien tekijöiden, kuten mitat, lämpöarvot, paineet, nopeudet, suulakkeen korkeudet ja aukkojen koot, jne ominaisuudet niin, että prosessissa saavutetaan maksimaalinen suoritusarvo, minimoidaan häiriötekijät ja kaikki tämä minimikustannuksilla.

Tässä välissä on varmaan syytä selvittää mitä laatu "maksaa". Laadun "hintaa" voidaan kiteyttää seuraavaan kahteen päätelmäketjuun:

Kustannus on kaikkein tärkein luonteenomainen piirre tuotteelle.

kuitenkaan

Kustannuksia ei voida alentaa ilman, että vaikutetaan laatuun / hävikkiin.

Laatu ja kustannus voidaan hallita seuraavasti:

Laatua voidaan parantaa ilman, että lisätään kustannuksia.

josta seuraa, että

Kustannuksia voidaan alentaa parantamalla laatua.

Mistä tässä on oikein kysymys? Mitä ovat parametrit? Parametrit ovat tekijöitä, jotka aiheuttavat tai saavat aikaan vaihtelua - häiriötä. Se on osa massaa, joka todistettavasti vaikuttaa tutkittavaan ilmiöön - tässä tiemerikintä materiaaliin tai koneeseen. Prosessin kannalta häiriöt voidaan luokitella viiteen osatekijään: signaalitekijöihin, häiriötekijöihin, ohjaustekijöihin, skaalaustekijöihin ja ulostulovasteeseen.

Parameterisuunnittelun perustehtävänä on löytää ohjaus- ja häiriötekijät ja käsitellä niitä erillisinä tekijöinä ja etsiä näiden keskinäisvaikutukset. Samalla etsitään myös ohjaustekijöistä ne tekijät, jotka maksimoivat ja säätelevät tuotteen tai prosessin suoritusarvoja. Näitä tekijöitä kutsutaan signaali ja/tai skaalaustekijöiksi. Kaikki muut tekijät, joilla ei ole vaikutusta ulostulovasteeseen, ovat kustannustekijöitä. Ne ovat tekijöitä, joita vaihtamalla kustannuksia alennetaan ilman, että tuotteen tai prosessin laaduntuottokyky kärsii yhtään. Tästä seuraa, että kaikki tuotteeseen tai prosessiin liittyvät komponentit, esim. raaka-aineet eivät tarvitse olla keskenään laadullisesti samaa luokkaa, kuin mitä merkittävimmät komponentit ovat. Tuotteen tai prosessin sisäinen laatu saa vaihdella paljonkin ilman, että se näkyy lopputuotteessa.

Miten parametrisuunnittelu toteutetaan, onkin jo melkein oma taiteen lajinsa. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että kokeen suunnitteluun kuluu 60% kokonaisajasta. Loppu 40% on kokeen suorittamista, tuloksien kirjaamista ja niiden tulkintaa.

Syy ajankäytön jakautumiseen löytyy esilletulevista ongelmista, joita ovat virhe (häiriö, kohina), syy-seuraussuhteiden sekoittuminen keskenään ja että tutkittava ilmiö on luonteeltaan monimutkainen. Nämä edellyttävät huolellista koesuunnittelua niin, että kokeen toteutuksesta tulee mahdollinen. Kokeissa käytetään eri kokoisia ortogonaalimatriiseja.

Maagiset neliöt eli ortogonaalimatriisit eli vakioveikkauksesta tutut haravat tarjoavat erittäin tehokkaan asioiden käsittely- ja ratkaisumahdollisuuden edellä mainittuihin ongelmiin. Niillä voidaan helposti käsitellä suuria määriä muuttujia yhtäaikaan harvoilla testeillä. Muuttujat ovat tasapainossa niin, että yksittäisen tekijän vaikutus voidaan ennustaa ja virheet on toistettavissa. Seuraava taulukko osoittaa kuinka tehokkaita ortogonaalimatriisit ovat:

Muuttujien määrä	Tasojen muuttujissa	Kokeiden lukumäärä	Testaa 1-muuttuja- vaihtoehtoja kpl
3	2	4	8
7	2	8	128
4	3	9	81
11	2	12	2 048
15	2	16	32 768
1, 7	2, 3	18	43 374
13	3	27	1 594 323
11, 12	2, 3	36	> 1 000 milj.

Taulukosta huomaa heti, että menetelmä on yksimuuttujakokeeseen nähden paljon, paljon tehokkaampi.

Kokeen järjestämistä varten ensin on selvittävä mitkä ovat keskeisimmät kysymykset, joiden oletetaan aiheuttavan häiriötä niin, että haluttuun lopputulokseen ei päästä. Selvitystyö tulee olla nopea ja saavutuksiltaan tehokas ja siinä käytetään ryhmätyöskentelymenetelmiä.

Oletetaan, että halutaan selvittää miksi spray-kone tuottaa huonoa jälkeä. Jälki on kuin syljeksittyä ja viivasta ei tule halutun levyistä. Koneessa on useampia säätömahdollisuuksia, mutta mikään säätö ei ole tuottanut tulosta.

Idearyhmä on tullut seuraavaan tulokseen prosessiin vaikuttavista tekijöistä. (Tämä on kuvitteellinen tapaus):

Valitaan 7 osatekijää - muuttujaa:

Muuttuja	Taso1	Taso2
A) Massan lämpötila	190°C	210°C
B) Ekstruderin paine	korkea	matala
C) Suuttimen korkeus	matalalla	korkealla
D) Suuttimen aukko	pieni	iso
E) Suuttimen asento	suoraan alas	15° kulmassa
F) Työnopeus	6 km/h	12 km/h
G) Hajotusilman paine	korkea	matala

Taulukon perusteella kokeet suoritetaan seuraavan koejärjestelyn mukaisesti (Ave = keskiarvo):

Koe								Kuljettaja1		Kuljettaja2		Ave	S/N
	A	B	C	D	E	F	G	Ajo1	Ajo2	Ajo1	Ajo2		
1	1	1	1	1	1	1	1						
2	1	1	1	2	2	2	2						
3	1	2	2	1	1	2	2						
4	1	2	2	2	2	1	1						
5	2	1	2	1	2	1	2						
6	2	1	2	2	1	2	1						
7	2	2	1	1	2	2	1						
8	2	2	1	2	1	1	2						

Ennen kokeen alkua on sovittu mikä tai mitkä asiat mitataan saadusta jäljestä millä keinoin. Jos mittariksi on valittu subjektiivinen arviointi, on arviolle annettava pisteytys, esim. kouluarvosana.

Kokeeseen osallistuu kaksi kuljettajaa, joista kumpikin ajaa saman kokeen kahdesti vuoron perään. Näin kuljettajien vaikutus tulokseen - ulostulovasteeseen - voidaan tuotantotilanteessa eliminoida. Kokeella saatavat säädöt ovat kuljettajasta riippumattomat ja jäljelle jääviä säätötekijöitä jää vain yksi, jota kuljettaja saa säätää. Muut säätöihin vaikuttavat tekijät säädetään ja lukitaan, ettei niitä pääse muuttamaan - ei ainakaan koneen kuljettaja. Näihin säätöihin saa kajota vain insinööri kokeessa saatujen tulosten perusteella.

Esimerkki havainnollistaa miten koe suoritetaan, mutta tässä ei paneuduta miten ongelma ratkaistaan, sillä Taguchi-menetelmä on strategia ja on näinollen liikesalaisuuksien piirissä. Teollinen koesuunnittelu on taasen menetelmä ja se on taas avoin kenelle tahansa.

Taguchi-menetelmää voidaan käyttää reseptiikan kehittämisessä, paluuheijastavuuden optimoinnissa, jne. Rajoituksena käytännössä on ihmismieli.

Liite 3**Osia työministeriön päätöksestä, joka koskee käyttöturvallisuustiedotetta**

Valmistajan, maahantuojan, jakelijan tai muun toiminnanharjoittajan, joka vastaa kemikaalin luovuttamisesta markkinoille tai käyttöön, on toimitettava kemikaaliasetuksen mukainen käyttöturvallisuustiedote kemikaalin vastaanottajalle silloin, kun kemikaalia käytetään teollisessa toiminnassa tai muutoin ammatissa.

Käyttöturvallisuustiedote toimitetaan vaaraa aiheuttavan kemikaalin vastaanottajalle suomen- tai ruotsinkielisenä ilman erillistä maksua, kun ensimmäinen toimitus tapahtuu.

Tiedote pitää uusia, kun kemikaalin vaarallisuudesta terveydelle, turvallisuudelle tai ympäristölle saadaan uutta tietoa.

Kun tiedotetta on muutettu, tulee muutettu tiedote toimittaa maksutta kaikille kemikaalia aikaisemmin vastaanottaneille, jos toimitukset ovat tapahtuneet viimeisen 12 kuukauden aikana.

Tiedotteessa tulee olla pakolliset otsikot ja laatimispäiväys. Jos tiedote laaditaan niin, että lomakepohjaa ei käytetä, suositellaan kuitenkin, että otsikot indeksoidaan seuraavan mukaisesti. Jos joitakin tietoja jätetään pois, suositellaan silti käytettäväksi otsikoiden alkuperäistä indeksointia.

Käyttöturvallisuustiedotteen otsikot

*:llä on merkitty ne kohdat, joihin on aina merkittävä asianomainen tieto ja

#:llä ne kohdat, joihin tehtävä aina jokin merkintä.

Ilman erityismerkintöjä ovat ne kohdat, jotka voidaan jättää pois.

Päiväys *

Edellinen päiväys *

1. Kemikaalin ja sen valmistajan, maahantuojan tai muun toiminnanharjoittajan tunnistustiedot *
 - 1.1. Aineen tai valmisteen tunnistustiedot *
 - Kauppanimi
 - Valmisteen tunnuskoodi
 - 1.2. Valmistajan, maahantuojan tai muun toiminnanharjoittajan tunnistustiedot *
 - 1.2.1. Valmistaja, maahantuoja, muu toiminnanharjoittaja *
 - 1.2.2. Katuosoite #
 - Postinumero ja -toimipaikka #
 - Postilokero #
 - Postinumero ja -toimipaikka *
 - Puhelin *
 - Telefax
 - LY-tunnus *
 - 1.2.3. Häätäpauksissa vastaavan tiedonantajan nimi ja osoite #
 - Hätänumero #
 - 1.2.4. Ulkomaisen valmistajan tiedot
2. Koostumus ja tiedot aineosista *
 - 2.1. Kuvaus #
 - 2.2. Vaaraa aiheuttavat aineosat #
 - 2.2.1. CAS-nro tai muu koodi #
 - 2.2.2. Aineen nimi #
 - 2.2.3. Pitoisuus #

- 9.13. Viskositeetti #
- 9.14. Muut tiedot
- 10. Stabiilisuus ja reaktiivisuus *
 - 10.1. Vältettävät olosuhteet
 - 10.2. Vältettävät materiaalit
 - 10.3. Haitalliset hajoamistuotteet #
- 11. Terveysvaikutuksiin liittyvät tiedot *
 - 11.1. Väitön myrkyllisyys #
 - 11.2. Ärsyttävyys ja syövyttävyys #
 - 11.3. Herkistyminen
 - 11.4. Subakuutit, subkrooniset ja pitkäaikaiset kokeet
 - 11.5. Kokemusperäinen tieto vaikutuksista ihmisiin #
 - 11.6. Muut terveysvaikutuksiin liittyvät tiedot
- 12. Tiedot kemikaalin vaarallisuudesta ympäristölle *
 - 12.1. Pysyvyys ympäristössä #
 - 12.1.1. Biologinen hajoavuus
 - 12.1.2. Kemiallinen hajoavuus
 - 12.2. Kertyvyys eliöihin #
 - 12.3. Kulkeutuminen ympäristössä #
 - 12.4. Myrkyllisyys eliöille #
 - 12.4.1. Myrkyllisyys vesieliöille
 - 12.4.2. Myrkyllisyys muille eliöille
 - 12.5. Muut tiedot
- 13. Jätteen käsittely *
- 14. Kuljetustiedot *
 - 14.1. YK-numero
 - 14.1. Pakkausryhmä
 - 14.2. Maakuljetukset #
 - 14.2.1. Kuljetusluokka
 - 14.2.2. Vaaran tunnusnumero
 - 14.2.3. Rahtikirjan mukainen nimitys
 - 14.2.4. Muita tietoja
 - 14.3. Merikuljetukset #
 - 14.3.1. IMDG-luokka
 - 14.3.2. Oikea tekninen nimi
 - 14.3.3. Muita tietoja
 - 14.4. Ilmakuljetukset #
 - 14.4.1. ICAO/IATA-luokka
 - 14.4.2. Oikea tekninen nimi
 - 14.4.3. Muita tietoja
- 15. Kemikaaleja koskevat määräykset *
 - 15.1. Varoitusetiketin tietoja #
 - 15.1.1. Valmisteen varoitusmerkin kirjaintunnus ja varoitusmerkin nimi
 - 15.1.2. Varoitusetikettiin merkittävien aineosien nimet
 - 15.1.3. R-lausekkeet
 - 15.1.4. S-lausekkeet
 - 15.1.5. Eräille valmisteille määrätty erityismerkinnät
 - 15.2. Kansalliset määräykset
- 16. Muut tiedot *
 - 16.1. Käyttötarkoitus *
 - 16.1.1. Sanallisesti ilmoitettuna *
 - 16.1.2. Käyttötarkoituskoodi #

TOL1:	KT1:
TOL2:	KT2:
TOL3:	KT3:
TOL4:	KT4:
 - 16.2. Käyttöohjeet
 - 16.3. Muut tiedot
 - 16.4. Lisätietoja antaa

16.5. Tietolähteet, joita on käytetty ilmoituksen laatimisessa

Osia tulevasta työministeriön päätöksestä, joka koskee tietojen toimittamista

Tiedot on toimitettava työministeriölle.

Käyttöturvallisuustiedotteen lisäksi on toimitettava äkillisten myrkytysten hoidon ja ehkäisemisen sekä ammattitautien ja tapaturmien selvittämisen kannalta tarpeelliset muut lisätiedot valmisteen koostumuksesta.

Työministeriö saa välittää salassapidettävät tiedot valmisteen koostumuksesta vain Myrkytystietokeskukselle myrkytysten hoito-ohjeiden antamista varten.

Lisätiedot voidaan toimittaa erikseen tai määrätyllä lomakkeella. Jos lisätiedot toimitetaan lomakkeella, tietojen toimittajan tulee merkitä selkeästi ilmoitukseen ne valmisteen aineosat ja muut tiedot, jotka ovat salassa pidettäviä.

Jos annettavat tiedot oleellisesti muuttuvat, kemikaalista toimitetaan muutettu tiedote työministeriölle. Olennaisia tietoja ovat:

1. valmisteen kaupananimen muutos
2. toiminnanharjoittajaa koskevien tietojen muuttuminen
3. määritellyt kemikaalien luokitusperusteissa ja merkintöjen tekemisestä sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä
4. uudet ja muuttuneet tiedot kemikaalin vaaraa aiheuttavista ominaisuuksista
5. muut seikat, jotka vaikuttavat olennaisesti tietosisältöön tai kemikaaliasetuksessa tarkoitettujen tietojen rekisteröintiin.

Osia tietojen toimittamisohjeista

Kemikaalilain ja -asetuksen perusteella tiedot kemikaalien vuosittaisesta valmistus- ja maahantuontimääristä toimitetaan työministeriölle jälkikäteen. Tästä työministeriö antaa erikseen ohjeet.

Lomakkeita saa työministeriön Tampereen toimipisteen julkaisumyynnistä joko paperimuodossa tai tiedostona ASCII- Word Perfect, Word tai TEKO-muodossa. Tiedot kemikaaleista toimitetaan osoitettuna:

Työministeriö
Kemikaaliosasto
PL 536
33101 TAMPERE

Tiedot toimitetaan kaikista niistä kemikaaleista, jotka voivat aiheuttaa vaaraa terveydelle tai ympäristölle taikka palo- ja räjähdysvaaraa.

Käyttöturvallisuustiedotetta ja ilmoitusta laadittaessa otetaan kemikaalin vaarallisten ominaisuuksien lisäksi huomioon kemikaalin riski terveydelle, ympäristölle ja omaisuudelle.

Myös sellaisesta kemikaalista, joita pidetään sinällään vaarattomina, mutta joista ennakoitavissa olevan käytön yhteydessä voi muodostua vaarallisia aineita ja reaktioita, on toimitettava tiedot työministeriölle.

Ilmoituksen on velvollinen laatimaan jokainen toiminnanharjoittaja, joka valmistaa tai tuo kemikaalia Suomeen.

Edustaja voi laatia ilmoituksen maahantuojaan puolesta omista nimissään, jos edustaja on tehnyt asiasta sopimuksen maahantuojaan kanssa. Tässä tapauksessa työministeriö kohdistaa mahdolliset ilmoituksesta johtuvat velvoitteet edustajaan.

Ulkolainen valmistaja tai ETA-alueelle tuoja voi hoitaa ilmoitusvelvollisuuden maahantuojaan puolesta, mutta tällöin on ilmoitettava, kuka vastaa kemikaalin tuonnista Suomeen ja ilmoituksen sisällöstä Suomessa. Ulkolaisen ja suomalaisen yrityksen tulee tällöin sopia asiasta ja ilmoituksesta johtuvat velvoitteet kohdistetaan suomalaiseen yritykseen.

Koostumuksesta ja aineosista annettavien tietojen tulee olla sellaisia, että niiden perusteella voidaan tunnistaa kemikaalin käyttöön liittyvät riskit. Kemikaalin täydellistä koostumusta ei siten yleensä tarvitse ilmoittaa. Koostumuksen selvittämisestä on tarkemmat ohjeet.

Jos ilmoittaja katsoo annettavat tiedon olevan salassapidettävää, merkitään aineosa tai muu luottamuksellinen tieto selkeästi.

Vaaraa aiheuttavan aineosan nimen luottamuksellisena pitäminen tulee erikseen perustella. Poikkeuksena ovat aineet, joiden nimiin liittyy aineet, joiden nimiin liittyy R-lauseke. Näistä R-lausekkeista on annettu lista.

Jos aineosan kemiallista nimeä pidetään luottamuksellisena, ilmoitetaan tällöin sille vaihtoehtoinen nimi, jonka muodostamisesta on ohjeet.

Ilmoitukseen on merkittävä, onko kysymyksessä aine vai valmiste (=seos).

Vaaraa aiheuttavat aineosat on lueteltava.

Chemical Abstracts Service Number, CAS-numero, on annettava. Jos CAS-numeroa ei ole, voidaan ilmoittaa (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances) EINECS-, EEC- tai (European List of Notified Chemical Substances) ELINCS-numero. Väriaineille voidaan käyttää Colour Index-numeroa.

Aineen pitoisuus tai pitoisuusalue valmisteessa on ilmoitettava.

Varoitusmerkki, R-lausekkeet ja muut tiedot aineosasta on ilmoitettava. Jos ainetta ei ole luokiteltu vaaralliseksi, tehdään siitä myös merkintä. Aineen vaarallisiin ominaisuuksiin liittyvät tiedot eivät voi olla salaisia.

Jos ainetta ei ole luokiteltu vaaralliseksi, mutta sillä on sellaisia vaarallisia ominaisuuksia, joiden vuoksi se aiheuttaa riskejä käyttäjille, kuvataan ominaisuudet lyhyesti. Myös aineen raja-arvo työpaikan ilmassa voidaan merkitä.

Valmisteen vaaralliset ominaisuudet on kuvattava.

Paikanpäällä tapahtuvaa ensiapua ja elvytystä varten on annettava ensiapuohjeet. Jos lääkärin apu on välttämätöntä, on se mainittava erikseen. Myös lääkäriä ja muita ensiapua antavia ammattihenkilöitä varten voidaan antaa tietoja. Tietojen tulee olla selkeässä ja helposti ymmärrettävässä muodossa. Välitöntä ja odotettavissa olevien oireiden kuvaus voidaan ilmoittaa.

Tiedot eri altistustapoja varten on ilmoitettava. Altistustapoja ovat hengitys, iho, roiskeet silmiin ja nieleminen.

Tulipalon varalta on ilmoitettava:

1. sopivat sammutusaineet
2. sammutusaineet, joita ei pidä turvallisuussyistä käyttää
3. erityiset altistumisvaarat
4. erityiset suojaimet ja varustus
5. muita ohjeita

Ohjeet henkilövahinkojen estämiseksi ja turvallisuuden varmistamiseksi päästön sattuessa on annettava. Tällaisia ovat mm. ohjeet sytytyslähteiden poistamiseksi, ilmanvaihdon järjestämiseksi ja hengityssuojainten käyttämisestä, toimenpiteiksi pölyn leviämisen sekä iho- ja silmäkosketuksen estämiseksi.

Ympäristövahinkojen estämiseksi on annettava ohjeet, jotta kemikaalin joutuminen viemäriin, maaperään sekä pinta- että pohjavesiin estyisi.

Päästön puhdistamisesta on annettava tarkat ohjeet. Niissä tulee ilmetä kemikaalin laimennus- ja imeytysaineet, huurujen/kaasujen poistamistavat esim. vesisuihkulla. Ohjeet voidaan antaa esim. muodossa: "Älä koskaan käytä..." tai "Neutraloi (aine)..."

Tarpeelliset käsittely- ja varastointitavat on kuvattava. Näihin kuuluvat mm. teknilliset toimenpiteet paikallis- ja yleisilmanvaihdesta, aerosolin ja pölyn muodostumisesta. Varastotilan ja astioiden erityiset rakenne- ja muut vaatimukset, sopimattomat materiaalit, varastointiolosuhteet (lämpötila, kosteus, valo, kaasu) ja staattisen sähkönsä muodostumisen estäminen on kuvattava. Jos kemikaali on tarpeellista erottaa varastoitaessa, annetaan tästä yksityiskohtaiset ohjeet, joissa mainitaan yhteensopimattomat kemikaalit.

Koska teknillisiin toimenpiteisiin tulisi ryhtyä ennen kuin henkilökohtainen suojautuminen on tarpeellista, annetaan tietoja altistuksen torjumiseksi tarpeellisista teknillisistä järjestelyistä, esim. suljetuista järjestelmistä.

Tiedot erityisistä altistumisen estämiseen liittyvistä tekijöistä, kuten raja-arvoista ja biologisista raja-arvoista valmisteen sisältämille aineosille on annettava. Suomessa työsuojeluviranomaiset ovat julkaisseet työpaikan ilman haitalliseksi tunnetut pitoisuusarvot. Näistä raja-arvoista käytetään lyhennettä HTP. Valtioneuvoston päätöksissä on määritelty sitovia raja-arvoja. Näistä käytetään lyhennettä SSP - suurin sallittu pitoisuus. Työterveyslaitoksen julkaisussa "Lääkärintarkastusohjeet erityistä sairastumisenvaaraa aiheuttavissa töissä" on määritelty biologiset raja-arvot - BRA. Menettelytapoja altistumisen seuraamiseksi tulisi kuvata.

Erityisistä suojautumis- ja hygieniaoheista on oltava kuvaus. Jos on mahdollisuus altistua vaarallisille kaasuille, höyryille tai pölylle, ilmoitetaan sopiva suojain ja sen tekniset vaatimukset.

Kemikaalien käsittelyn yhteydessä tarvittavien käsineiden tyyppi on ilmoitettava. Käsineiden tulisi kestää kemikaalin vaikutusta riittävän pitkään ilman, että

materiaali alkaa vuotaa. Jos on tarpeellista, ilmoitetaan muut ihon ja käsien suojaustoimenpiteet.

Silmiä suojattaessa on ilmoitettava suojaimen tyyppi kuten: suojasilmälasit, naamiomalliset suojasilmälasit, levykasvosuojus.

Jos on tarpeellista suojata muuta kehon osaa kuin käsiä, määritellään vaaditun suojaimen tyyppi ja laatu kuten: esiliina, saappaat ja täysin suojaava puku.

Kemikaalin fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista on mainittava sen olomuoto, väri ja haju. Jos haju on selvä, annetaan siitä lyhyt kuvaus. Kemikaalin pH-arvo on ilmoitettava myös laimennetulle liuokselle. Liuoksen väkevyys on myös ilmoitettava.

Fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista merkitään asianomaiset tiedot käyttäen EY:n direktiivissä 67/548/EEC (Council Directive on approximation of laws, regulations and administrative provisions relating to classification, packaging and labelling of dangerous substances; Annex V, part A) määrättyjä testimenetelmiä tai muita vertailukelpoisia menetelmiä.

Olomuodon muutokseen liittyvät tiedot on ilmoitettava, kuten kiehumispiste/kiehumisalue, sulamispiste/sulamisalue, hajoamislämpötila, leimahduspiste, syttyvyys, itsesyttymislämpötila, räjähdysvaara, ylempi ja alempi räjähdysraja, höyryn paine, tiheys, liukoisuus, aineosille oktanoli/vesi jakaantumiskerroin, viskositeetti ja muut. Liukoisuutena ilmoitetaan sekä vesi- että rasvaliukoisuus öljyyn ja/tai liuottimeen. Tästä sovellettuna kuumamassoille on tuotekohtaisesti ilmoitettava käyttö- ja levityslämpötilat. Muina tietoina ilmoitetaan turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten höyryn tiheys, sekoittuvuus, höyrystymisnopeus ja johtavuus.

Kemikaalin stabiilisuus ja haitalliset reaktiot, joita voi ilmetä tunnetuissa olosuhteissa on ilmoitettava. Vältettävät olosuhteet ja materiaalit ja haitalliset hajoamistuotteet on ilmoitettava ja kuvattava. Erityisesti tulisi mainita:

1. stabilisaattorien tarve ja läsnäolo
2. haitallisten eksotermisten reaktioiden mahdollisuus
3. tarvittaessa turvallisuuden merkitys aineen tai valmisteeseen fysikaalisen tilan muuttuessa
4. tarvittaessa haitalliset hajoamistuotteet, jotka muodostuvat kosketuksessa veden kanssa
5. epästabiilien tuotteiden hajoamismahdollisuus

Mahdollisimman täydellisesti, mutta tiiviisti tulisi ilmoittaa erilaisia terveydelle haitallisia vaikutuksia, joita voi ilmetä, jos käyttäjä joutuu kosketuksiin aineen tai valmisteeseen kanssa. Sekä kokemukseen että kokeisiin perustuvat altistuksesta johtuvat terveydelle vaaralliset vaikutukset ilmoitetaan. Tässä tulee kuvata altistumisesta johtuvia oireita, jotka liittyvät fysikaalisiin, kemiallisiin ja toksikologisiin ominaisuuksiin.

Tässä tulee ilmoittaa myös viivästyneet, välittömät ja krooniset vaikutukset, jotka johtuvat lyhyt- tai pitkäaikaisesta altistumisesta. Näistä esimerkkinä huumaava vaikutus, herkistyminen, syöpävaarallisuus, perimän muutoksia aiheuttava

ominaisuus, vaarallisuus lisääntymiselle mukaan lukien sikiövaurioita aiheuttava ominaisuus.

Välitön myrkyllisyys on ilmoitettava LD-, LC ja TD-arvoina ohjeiden mukaan samoin kuin kerta-altistuksessa aiheutuvat pysyvät vauriot. Myös kokemusperäinen tieto vaikutuksista ihmisiin on ilmoitettava. Tietoja näistä on saatavilla mm. toksikologian käsikirjoista.

Kemikaalin vaarallisuutta ympäristössä voidaan arvoida sen käyttäytymisen (pysyvyys ja muuntuminen, kertyvyys, kulkeutuvuus) sekä sen myrkyllisyyden perusteella. Kemikaalin käyttöön liittyviä mahdollisia haittoja arvoitaessa otetaan lisäksi huomioon erilaiset käyttöolosuhteet, kuten käyttötarkoitus ja -määrät.

Biologisesta hajoamisesta on oltava maininta (readily biodegradable). Jos hajoavuutta ei ole testattu, voidaan ilmoittaa BOD₅/COD-suhde. Hydrolyysinopeus ilmoitetaan puoliintumisaikana.

Kertyvyys eliöihin ilmoitetaan aineen n-oktanoli/vesi-jakaantumiskertoimella. Kokeellisesti määritetty biokertyvyystekijä - BCF - ilmoitetaan, jos se on käytettävissä. Kulkeutuminen ympäristössä ilmoitetaan aineen kiinnittymistä maaperään tai sedimenttiin kuvaavalla absortiokertoimella. Jos tätä ei ole käytettävissä, voidaan kulkeutumista kuvata sanallisesti.

Myrkyllisyys vesi- ja muille eliöille ilmoitetaan samoin kuin muista käyttöön mahdollisesti liittyvistä ympäristöhaitoista.

Valmisteen tai aineen vaarallisista jätteiden käsittelyn yhteydessä ilmenevistä ominaisuuksista ja suositeltavista käsittelymenetelmistä on ilmoitettava. Jätteen käsittelystä määräävät paikalliset jätehuoltoviranomaiset ja tässä ilmoitettavan tiedon tulisi olla apuna arvioitaessa turvallista käsittelytapaa.

Tiedoista tulee ilmetä onko kemikaalista syntyvä jäte ongelmajätettä, voidaanko kemikaali tehdä vaarattomaksi ennen kuin se toimitetaan käsiteltäväksi jätteenä, annetaan tiedot mahdollisuuksista kemikaalin hyötykäyttöön tai mahdollisuuksista palauttaa jäte valmistajalle tai maahantuojalle. Tarvittaessa on ilmoitettava suositeltu käsittelytapa tyhjille pakkauksille.

Ohjeet kemikaalin kuljettamisesta ja siirtämisestä on annettava ja niiden on oltava sovellettavissa sekä käyttäjän oman alueen sisä- ja ulkopuolella. Merkinnässä käytetään YK-numeroa ja pakkausryhmää. Kotimaankuljetusta varten merkinnät tehdään suomalaisten tie- ja rautatiekuljetusmääräysten mukaisesti ja kansainvälisessä liikenteessä ADR-/RID-määräysten mukaan. Vaarallisia aineita kuljetettaessa säiliöissä merkitään säiliöön varoituslipukkeen lisäksi ns. oranssi kilpi, jonka yläosaan merkitään vaaran tunnusnumero ja alaosaan YK-numero.

Vaarallisten aineiden ja valmisteiden luokitusta, pakkaamista ja merkitsemistä koskevien määräysten mukaiset etikettitiedot on annettava. Ilmoitukseen voidaan liittää myös malli etiketistä. Etiketin tiedot määräytyvät kemikaaliasetuksen, luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä annetun sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen mukaisesti. Jos kemikaalia koskevat kansalliset erityismääräykset, näistä ilmoitetaan.

Muina tietoina on ilmoitettava käyttöala toimialaluokituksen mukaisesti ja käyttötarkoitus sanallisesti.

Valmistajalta tai maahantuojilta edellytetään käyttöturvallisuustiedotteen toimittamista viranomaisille. Tässä valmistajien ja maahantuojien tapa toimia on osoittautunut epäyhtenäiseksi, mitä ilmoittamoituksen sisältöön tulee. Suomen työsuojeluviranomaisten teettämässä markkina- ja valvontaselvityksissä on havaittu, että ilmoituksissa ei ole kaikkia asioita ilmoitettu ja että tuotteessa olevia kaikkia terveydelle vaarallisia aineita ei ole mainittu. Suomessa tiemarkintämateriaaleille ei tietyvästi ole suoritettu markkina- ja valvontaselvitystä. Tulevaisuudessa viranomaiset tulevat panostamaan markkina- ja valvontaan entistä enemmän. Valvontaa suorittavat työsuojelu-, kunta ja ympäristöviranomaiset keskenään yhteistyössä. Markkina- ja valvonnassa keskitytään siihen, että valmistajan tai maahantuojan antama tieto tuotteesta on oikeata. Käyttöturvallisuustiedote, pakkausmerkinnät ja tuotteen sisällön on vastattava toisiaan. Asia todetaan näytteiden otolla.

VARUINFORMATION

om klassificering, sammansättning och egenskaper

Utfärdandedatum 1991-05-03		Handelsnamn Cleanosol VMM 6731	
Tillverkare/Leverantör Cleanosol AB		Kemisk eller teknisk produktbenämning Vägmarkeringsmassa	
Adress Box 160 291 22 Kristianstad		Utfärdare/kontaktperson/avdelning Gratia Ekström Perwe	tel nr 044-11 54 10

KLASSIFICERING ENLIGT SVENSK LAGSTIFTNING

Hälsofarlig kemisk produkt <input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nej		Brandfarlig vara <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2a <input type="checkbox"/> 2b <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> Brandfarlig gas <input checked="" type="checkbox"/> Nej	
Bekämpningsmedel <input type="checkbox"/> Klass 1 <input type="checkbox"/> Klass 2 <input type="checkbox"/> Klass 3 Reg nr: <input checked="" type="checkbox"/> Nej		Explosiv vara Transportklass <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> Nej	
Märkningskategori(er) <input type="checkbox"/> Mycket giftig <input type="checkbox"/> Starkt frätande <input type="checkbox"/> Giftig <input type="checkbox"/> Frätande <input type="checkbox"/> Hälsoskadlig <input type="checkbox"/> Mycket brandfarlig <input type="checkbox"/> Irriterande <input type="checkbox"/> Måttl. hälsoskadl. <input type="checkbox"/> Brandfarlig <input type="checkbox"/> Explosiv <input type="checkbox"/> Oxiderande			

TRANSPORTKLASSIFICERING

FN	IMDG (sjö)	ADR/RID/ADR-S/RID-S (bil-tåg)		DGR(flyg)
Förp.grupp FN nr	Class Page	EmS No MFAG No	Klass	Class

SAMMANSÄTTNINGSUPPGIFTER

A Amnen som ger varan dess ev hälsofarighet—ange om möjligt CAS-nr	Halt	Hyg. gransv.	Anm.
B Andra amnen Kolväteharts Högraffinerad mineralolja Termoelast Olefinpolymer Silikater och Karbonater Titandioxid Glaspärlor			

FYSIKALISKA/KEMISKA EGENSKAPER

Varubeskrivning (form, färg, lukt, viskositet etc) Materialet finns som pulvergranulat och block			
Kokpunkt °C	Stein-/smältp °C	Densitet 2000 kg/m³	Rel. gasdens. (luft=1)
Flammpunkt >230 °C	Tändtemp >230 °C	Expl.omr vol%	Lösl. i org. lösn.medel
Ångtryck vid mmHg	pH i koncentrat kPa	Rel.avdunstningshastighet Eter=1: BuAc=100:	ja
Spec. egenskaper eller risker			Lösl. i vatten vid °C vikt% nej

BIOLOGISKA EGENSKAPER

--

ÖVRIG INFORMATION

--

Denna blankett har utarbetats av Kemikontoret och PKL i samarbete med LO och SAF samt KTF, SPI och SVEFF, efter samråd med Arbetskyddsstyrelsen. Beställning av blanketter med anvisningar kan göras hos Kemikontorets Förlag AB, Box 5501, 114 85 Stockholm, eller PKL, Box 5512, 114 85 Stockholm.

TEKNISK BESKRIVNING

PRODUKT	CLEANOSOL VMM 6731
PRODUKTTYP	Termoplastisk vägmarkeringsmassa
ANVÄNDNING	<p>För utförande av längsgående, tvärgående och andra vägmarkeringar.</p> <p>På nyasfalterade ytor, komplettering av gamla markeringar samt på betongytor som behandlats med primer.</p>
UTLÄGGNING	Materialet appliceras genom extrudering och som sprayplast, samt med handskopa.
SAMMANSÄTTNING	<p>Pigment och fyllmedel ca 60 viktprocent. Pigment utgöres av titandioxid. Fyllmedel utgöres av silikater och karbonater.</p> <p>Bindemedel ca 20 viktprocent. Bindemedel utgöres av kolväteharts, termoelast, olefinpolymer och processolja.</p> <p>Glaspärlor 20 viktprocent. Premixpärlor enl BYA 84 KAP 13:01.</p>
FUNKTIONSKRAV	Uppfyller funktionskraven för termoplastisk vägmarkeringsmassa enl BYA 84 KAP 13:01.
HÅLLBARHETSKLASS	Uppfyller kraven för hållbarhetsklas 1 och 2 enl VTI Medd. 482. Gäller ej spray.
KVALITETSSÄKRING	Utveckling, tillverkning och utläggning sker i enlighet med bifogade kvalitetspolicy (bilaga 1).
TRANSPORT	Lastning och lossning under transporten skall utföras så att emballaget ej skadas. Materialet får ej utsättas för fukt eller komprimeras genom stapling.
LAGRING	Materialet lagras så att emballaget ej skadas samt skyddas mot fukt och högre temperatur än 30°C genom övertäckning. Materialet får ej komprimeras genom stapling.

TEKNISK BESKRIVNING CLEANOSOL VMM 6731

SMÄLTNING

Blockmaterial är utläggningsklart när erforderlig utläggningsstemperatur har uppnåtts.

Pulvergranulatet måste fullständigt ha smälts och blandats genom noggrann omrörning innan det får utläggas.

En lämplig arbetsmetodik vid smältning av stora volymer, är att vid urtappning inte underskrida grytans halva volym.

Härigenom undvikar man överhettning av grytväggarna och får en snabbare smältning genom värmen i det kvarvarande materialet.

Vid detta förfarande hindrar man elastomerpartiklar från att bränna fast på grytväggen.

Vid all smältning av pulvergranulat, och speciellt där förpackningen är smältbar plastsäck, är det viktigt med en effektiv omrörare som vid lågt varvtal kan bearbeta och blanda materialet väl.

OMRÖRAREHASTIGHET

För högt varvtal på omröraren kan verka nedbrytande på ingående polymert material med lättflytande konsistens och sedimentation som följd. Varvtalet bör hållas så lågt som möjligt.

UNDERHÅLLSVÄRME

Materialtemperaturen bör ej överstiga 150°C, och underhållsvärme bör ej stå på under längre tid än 18 timmar, då förändring av materialets funktion och hållbarhet kan ske

NEDSLÄCKNING

Efter avstängning av brännarna bör omrörningen fortsätta till temperaturen på **hetoljan** understiger 180°C.

UTLÄGGNINGS- TEMPERATUR

Vid maskinläggning 200-210°C och vid handläggning 180-190°C.

KONSISTENS

Vid längre tids omrörning vid utläggningsstemperatur kan konsistensen ändras från krämliknande till lättflytande, varvid separation kan uppstå.

Orsaken är att materialet innehåller en elastomer för att bli slagsegt. Elastomerer minskar i konsistens om de utsätts för värme och mekanisk bearbetning. Sänker man temperaturen och minskar omrörningen återhämtar de sig och materialet återfår sin krämliknande konsistens.

TEKNISK BESKRIVNING CLEANOSOL VMM 6731

VÄRMEBESTÄNDIGHET

Materialet är formulerat och utprovat för bäst möjliga värmebeständighet. Under 4 timmars uppvärmning vid 210°C bevarar materialet sin förmåga att uppfylla funktionskraven enl BYA 84 KAP 13:01 och kraven för hållbarhetsklasserna 1 och 2 enl VTI Medd 482.

ÖVERHETTNING

Kraftig omrörning och längre tids uppvärmning vid max utläggningstemperatur kan förändra materialet så att det ej uppfyller funktionskrav och hållbarhetsklasser enl föreskrift.

Förändringarna medför ofta förhöjda stämpelbelastningsvärden och slitagevärden.

PROVTAGNING

Vid uttagning av prov för hållbarhetsprovning enl VTI Medd 482 skall nedanstående krav tillgodoses för att provningsresultatet skall kunna godtagas.

1. Vid provtagninmg för officiell provning enl ovanstående skall samma mängd prov tagas och sändas till:

Cleanosol AB Laboratoriet
Box 160, 29122 Kristianstad

2. Proverna skall vara tydligt märkta med:

Tillverkare
Produktbeteckning
Tillverkningsdatum
Satsnummer
Provtagare
Adress
Telefon
Provtagningsdatum
Provtagningsstemperatur
Oljetemperatur
Uppvärmningstid
Omrörningshastighet
Provtagningsplats
Län

LEVERANSFORM

673121 block 28 kg
673122 säck 20 kg
673123 storsäck 355 kg
673125 spray säck 20 kg
673126 spray storsäck 355, alt. 400 kg

SKYDDSFÖRÅG



Se bifogade varuinformationsblad

PRODUKTDATABLAD

Prod.nr. 20
Datablad nr. 020-1
Dato: 11-90

Produsent / Importør MetroMark Copolymer traffic paint ARVID HENRIKSEN TRADING & CONSULTING	Handelsnavn METRO MARK
	Anvendelse Hvit merkemaling
	Utarbeidet av Terje Stavås

1. KLASSIFISERING / MERKING

Faresymboler  	R-setn.-10 : Brannfarlig. -36/37/38: Irriterer øynene, luftveiene og huden.
YL-gruppe : 4 rL-tall : ca 3000m ³ /l	S-setn.-2 : Oppbevares utilgjengelig for barn. -16 : Holdes vekk fra antenneskilder. Røyking forbudt. -23 : Unngå innånding av damp / sprøytetåke. -24/25 : Unngå kontakt med huden og øynene. -37 : Bruk egnede vernehansker.

2. TRANSPORTKLASSIFISERING

UN 1866	MDG	ADR/RID 1866 kl.3.3(c)	ICAO/IATA
------------	-----	------------------------------	-----------

3. SAMMENSETNING

	Vekt%	Fareklasse	Adm.norm
Umettet polyesterharpiks	30-60	X _i	-
Styren	30-60	X _i	105 mg/m ³
Titan dioxid, TiO ₂	10-30		

4. FYSIKALSKE DATA

Farge/lukt Hvit / lukt av ketoner			
Form/konsistens <input type="checkbox"/> FAST (briketter, stenger) <input type="checkbox"/> PULVER <input type="checkbox"/> PASTA <input checked="" type="checkbox"/> VÆSKE <input type="checkbox"/> GASS <input type="checkbox"/> AEROSOL			
Damptrykk (20 °C) i.k 5,2 mmHg kPa	Løselighet (vann) 20°C: <input checked="" type="checkbox"/> Ikke løselig <input type="checkbox"/> Delvis løselig <input type="checkbox"/> Lett løselig <input type="checkbox"/> Løselighet i org. løsemidler	pH (kons.): pH (1 %):	
Damptetthet (luft = 1) 3,6	Tetthet 1,12 (25 °C) kg/m ³	Viskositet - Viskøs	
Smeltepunkt/ område	Kokepunkt/ område ca. 145 °C	Andre data: Ustabil	
Eksplosjonsgrenser 1,1 Vol%	Tenntemperatur °C	Flammepunkt Metode 23-37 °C <input checked="" type="checkbox"/> Closed cup <input type="checkbox"/> Open cup	
Reaktivitet Reagerer med oksydasjonsmidler, sterke alkalier og syrer. Når materialet dekomponeres dannes giftige gasser som karbon mono- og dioksyd.			

5. TOKSIKOLOGISKE DATA

LD ₅₀	
LC ₅₀	

Handelsnavn:

6. HELSEFARE (Generelt, svelging, innånding, hud, øyne)

- Svelging** : Helseskadelig, fremkaller kvalme, oppkast og diare. Videre opptak i lungene er farlig.
- Innånding** : Helseskadelig, fremkaller trøtthet, slapphet, hodepine, kvalme og konsentrasjonssvikt. Kan ved større mengder føre til kvelningsfølelser.
- Hud** : Irriterende, fremkaller tørr hud og eksem ved lange eller gjentatte eksponeringer.
- Øyne** : Irriterende, fremkaller tåredannelse, røde øyne og uklart syn.

7. BRANN OG EKSPLOSJONSFARE

Nedre eksplosjonsgrense: 1,1 vol-%.

Brannslukningsmiddel: - Skum, vanntåke, CO₂ og tørre kjemikalier.

8. VERNETILTAK

- Verneutstyr** : - Egnede arbeidsklær, briller og neoprenhansker:
- Hvis effektiv ventilasjon ikke er mulig, må det brukes egnet andedrettsvern.
- Forsiktighetsregler ved bruk** : - Unngå kontakt med huden og øynene.
- Pass på at avtrekk og annen ventilasjon er i orden.
- Sørg for god arbeidshygiene.
- Forsiktighetsregler ved lagring** : - Lagres adskilt fra oksydasjonsmidler, sterke alkalier og-syrer
- Lagres innendørs på godt ventilert sted.

9. FØRSTEHJELP (Generelt, svelging, innånding, hud, øyne)

- Svelging** : - Unngå brekninger, søk ro og varme.
Tilkall lege så snart som mulig.
- Innånding** : - Frisk luft. Ved spesielle pustevansker må oksygen benyttes og lege tilkalles.
- Hud** : - Vask godt med vann og såpe.
- Øyne** : - Løft øyelokkene og skyll med rennende vann i minst 15 min.
Kontakt lege.

10. INFORMASJON TIL HELSEPERSONELL

- Informasjon om styren finnes i yrkeshygienisk litteratur.
- Helsekontroll** : - Generel helsekontroll 1 gang pr. år anbefales.

1. TILTAK VED SPILL OG LEKKASJE

- Rengjøring / destruksjon** : - Absorberes i Absol, sand eller annet absorberende materiale og deponeres i beholder for ildsfarlig avfall.
- Utslipp til vann** : - Spill og rester destrueres ved godkjent mottakerstasjon.
- Utslipp på gater, mark etc.** : - Utslipp til vann, gater, mark etc. er ikke tillatt.

2. ANDRE OPPLYSNINGER

- .1) Oppl. gitt av: Metro Polymer Labs. Inc., 2400 West Clyborn, Milwaukee, Wisconsin 53233, 414/342/7565.
- .2) Dette prod.datablad er i.h.t. AML's forskrifter til loven, best nr.445.
- .3) Produktet er registrert ved Giftinformasjonssentralen, tlf.02-334030

Liite4

Perussuureet

Käytössä on kaksi järjestelmää: anglosaksisissa maissa käytettävä englantilainen mittajärjestelmä ja muualla metrinen. Erot tulevat näkyviin lasketessa mm. luminanssia. Seuraavassa taulukossa on perussuureet, niiden mittayksiköt ja niiden keskinäiset riippuvuudet:

Suure	Symboli	Yksikkö
Valovoima	I	Kandela (cd)
Valovirta	F	Lumen (lm)
Valaistusvoimakkuus	E	Luksi (lx)
Valoeksistanssi	M	Lumen / m ² (lm/m ²)
Luminanssi	L	Kandela / m ² (cd/m ²)
Valomäärä	Q	Luumensekunti, -tunti (lms/lmh)

Valovoima on perussuure, josta kaikki muut suureet on johdettu. Valovoima kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta, jota kutsutaan myös intensiteetiksi. Yksikkö kandela tulee englannin kielen sanasta candel, kynttilä. 1800-luvulla kandelan määrittämiseksi käytettiin tarkoin määriteltyä kynttilää valovoiman tuottamiseksi. Myöhemmin kynttilästä tuli kaasuliekki ja nyt se on mittastandardi hehkulamppu.

Valovirta voidaan havainnollistaa seuraavasti: Kuvitellaan, että pallon keskellä on ympärille tasaisesti säteilevä valon lähde, jonka valon voima on 1 kandela (cd) ja pallon säde on 1 m. Pallon pinnalle säteilemän valoenergian virtausnopeutta kuvataan lumenilla (lm).

Koska valovirta on säteilytehoa, vastaa lumen tehon yksikköä wattia. Valovirta on silmän spektriherkkyydellä painotettu valonlähteen näkyvän valon alueen säteilyteho. Näköjärjestelmä ei nimittäin ole yhtä herkkä kaikilla väreille. Päivänäkemisessä herkin kohta osuu keltavihreälle osalle, jonka aallon pituus on 555 nm ja siihen on Philipsin Gold -lampulla pyritty päästä. Kaikilla muilla aallonpituuksilla herkkyys laskee kumpaankin suuntaan ja kuvio muistuttaa Gaussin kellokäyrää.

Luminanssi kuvaa pinnalta lähtevää valoa. Puhuttaessa luminanssista tai valoeksistanssista, riippuu käytettävä termi siitä kuinka lähellä tarkastelija on kohdetta. Lähellä se on valoeksistanssi ja kaukana luminassi. Määritelmä perustellaan seuraavasti:

Oletetaan pallon olevan läpinäkyvän, joka läpäisee 80% saapuvasta valosta. Sisälle valosta ei jää mitään, vaan 20% valosta on absorboitunut pintaan. Pallosta poistuu ulkopuolelle valovirta ja poistuvan valovirran tiheydeksi saadaan 0,8 lm/m² pallon pinta-alalla. Tätä pinnasta säteilevää valovirtaa kutsutaan valoeksistanssiksi.

Jos palloa katsotaan kaukaa, joka on tilanne lasihelmien kohdalla, se ei näytäkään valoisalta pallopinnalta, vaan valoisalta ympyrän muotoiselta tasolta. Pinnan luminanssi määritellään pinnan valovoiman tiheydeksi tarkastelusuuntaan. Nyt puhutaankin valovoimasta eikä enää virrasta.

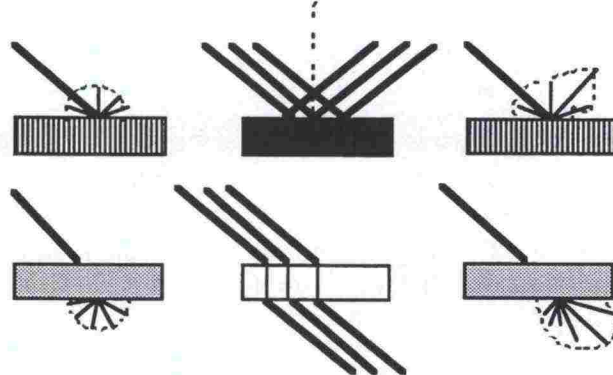
Valomäärä on verrannollinen valotehoon. Valovirran ollessa vakio, valomäärä saadaan kertomalla valovirta ajan pituudella. Valomäärä on annos valoa.

Valon heijastuminen ja läpäisy

Valon osuessa pintaan se joko osittain läpäisee sen tai heijastuu takaisin. Osa valosta imeytyy pintaan, absorboituu. Riippuen tulevan valon ominaisuuksista, eli onko se hajavaloa, se ulostullessaan taittuu aallonpituuksien mukaan. Monokromaattinen valo ei enää hajoa, koska se muodostuu vain yhdestä väristä - aallosta.

Heijastuminen ja läpäisy jaotellaan kolmeen pääryhmään riippuen siitä, miten valo jakaantuneena heijastuu tai läpäisee aineen. Heijastustapoja on haja-, suunta- ja sekaheijastukset ja läpäisytyyppejä haja-, suunta- ja sekäläpäisy. Käytännössä aivan puhdasta ilmiötä ei ole, vaan ilmiöt sekoittuvat toisiinsa.

Esimerkki lähes täydellisesti suuntaa heijastavasta ja -läpäisevästä pinnasta ja aineesta ovat hopeapeili ja ikkunalasi. Sekaheijastavia pintoja ovat teiden kestopäällysteet ja sekäläpäiseviä ovat läpikuultavat esineet, joiden läpi katseltuna esineiden ääriveriävät muuttuvat epätarkoiksi.



Ylemmällä rivillä vasemmalta oikealle on haja-, suunta- ja sekaheijastuminen. Alemmalla rivillä vastaavasti haja-, suunta- ja sekäläpäisy.

Paluuheijastuvuus

Paluuheijastuvuuden mekaniikkaa on tarkasteltu erittäin monessa tiemerikintäalan julkaisussa, joten tässä asiaan ei paljoa paneuduta. Toinen syy on se, että asiasta ei ole tältä puolelta enää mitään annettavaa. Merkityksellisempää on ymmärtää kokonaisuus, jonka voi muodostaa lukemalla tämän kirjan.

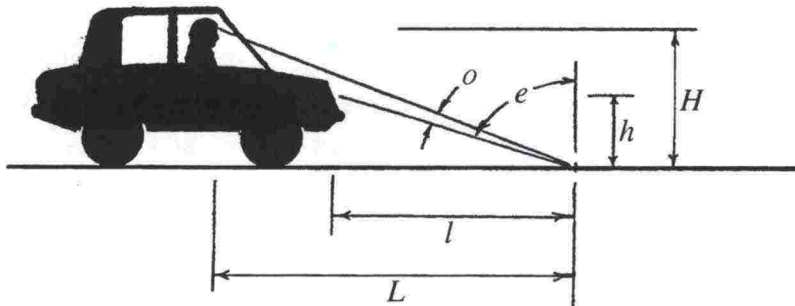
Tiemerikintöjen kannalta paluuheijastuvuus on yksi keskeisimmistä arvoista, ellei jopa keskeisin. Paluuheijastuvuus perustuu luminanssiin ja se lasketaan seuraavaa kaavaa käyttäen:

$$R_L = L / E^{\wedge} \quad (\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}), \text{ jossa}$$

L = yhden valonlähteen valaiseman alueen tietyllä etäisyydellä laskettu luminanssi ($\text{mcd} / \text{m}^{-2}$) ja jota tarkastellaan suhteellisen pienessä kulmassa.
 E^{\wedge} = valaistusvoimakkuus (lx)

Paluuheijastuvuus ilmaisee lasihelmen palauttaman ajovalojen lähettämän valovoiman. Arvolla ei olisi liikenteelle merkitystä, ellei siihen liittyisi lasihelmen taitekerrointa, jonka avulla valo taittuu takaisin kuljettajan silmiin tietyltä etäisyydeltä oikeassa kulmassa. Valovoima on kuitenkin niin heikko, että se häipyy helposti muuhun tiellä olevaan valokohinaan ja -saasteeseen.

Paluuheijastuvuuden arvostus perustuu kuljettajan näkemään puolivaloilla ajettaessa. Esim. Tanskalainen paluuheijastuvuusmittari LTL800 perustuu alunperin Volvo 240-sarjan mittoihin ja ajovaloihin 50 m:n etäisyydeltä.



Paluuheijastuvuuden periaate kuljettajan kannalta nähtynä.

Ranskalainen jatkuvasti mittaava mittari perustuu noin 300 rekkakuskin haastatteluun. Mittari rakennettiin simuloimaan 60 m:n näkemämatkaa puolivaloilla. Se lukee jatkuvasti joko keski- tai reunaviivan paluuheijastuvuutta, kontrastia ja luminanssia. Valonlähteenä siinä on tavallinen halogeenilamppu.

CEN-määritysten mukaan kuljettajan ajovalojen arvioidaan näyttävän 30 m:n etäisyydelle, joka sekä tarkoittaa puolivaloja. Kuljettajan kuvitellaan istuvan 1,2 m:n korkeudella tien pinnasta ja ajovalot ovat 65 cm:n korkeudella. Tämän perusteella kaikki paluuheijastuvuusmittarit joudutaan rakentamaan uudelleen. CEN:in kannanotto merkintöjen näkymiseen johtaa aivan uuden mittaustavan kehittämiseen. Ensimmäiset prototyypit on jo rakennettu ja niitä kokeillaan ainakin mm. Ruotsissa ja Norjassa.

Jos paluuheijastuvuutta ei olisi, ei tiemerikinnät näkyisi käytännössä laisinkaan. Pelkästään kontrasti ei tuo merkintää esille, ei liioin luminanssi. Miksi? Koska tiemerikintämateriaali on hajaheijastavaa ja sen luminanssi on samalla tasolla kuin asfaltinkin. Toisekseen tielle lankeava valovoima ja -määrä ovat kummatkin niin pieniä, että merkintä näyttää harmaalta. Asiaa havainnollistetaan hieman tuonnempana kohdassa *Luminanssi*.

Lasihelmillä saadaan luminanssia ja kontrastia parantava vaikutus. Niiden voimakkaan vaikutuksen havaitsee levittämällä tielle vain helmiä ilman sideainetta. Helmikerros ei kuitenkaan saa olla paksu. Muuten valo "puuroutuu".

Kontrastit

Kohteen ja taustan luminanssikontrasti määritellään seuraavasti:

$$\text{Kontrasti} = \frac{\text{Taustan luminanssi} - \text{kohteen luminanssi}}{\text{Taustan luminanssi}}$$

Tässä ei oteta kantaa positiiviseen tai negatiiviseen kontrastiin, koska valo-opin kannalta luminanssiero lasketaan lukujen itseisarvoilla. Jos kohde ja tausta ovat täysin heijastavia ja niiden valaistusvoimakkuudet samat, kontrasti riippuu ainoastaan pintojen heijastussuhteista. Tämä tilanne tulee esille lumen osittain peittäessä tienpintaa kuitenkin niin, että tiemerikintöjä on näkyvillä.

Jos kohde on valkoinen ja tausta musta, voi kontrasti olla melkein 100%. Mitä tummemmiksi tiemerikinnät tulevat ja lähestyvät harmaata, sitä suurempi valaistusvoimakkuus tarvitaan kontrastin havaitsemiseksi.

Kontrastin alimpaan raja-arvoon vaikuttavat kaksi tekijää: kynnyskontrasti ja kontrastiherkkyys. Kynnyskontrasti määritellään pienimpänä näkökohteen kontrastina, jolla kohde on havaittavissa 50% ajasta tietyssä katsomistilanteessa. Kontrastiherkkyys on edellisen käänteisluku. Kummatkin tekijät riippuvat ratkaisevasti taustan luminanssista, kohteen koosta ja näkemiseen käytettävästä ajasta.

Koko ja kontrasti liittyvät läheisesti yhteen. Näkökohteen koon kasvaessa kontrastista tulee määräävä tekijä kynnysnäkemisessä. Muutos tapahtuu 1,5 ... 2,5 kulmaminuutin kokoalueella. Pienillä kohteilla, jotka ovat alle 1,5 kulmaminuuttia koon pieni muutos vastaa suhteellisesti suurempaa kontrastin muutosta saman näkyvyyden säilyttämiseksi taustan luminanssin pysyessä muuttumattomana. 10 cm leveät tiemerikinnät ovat suhteellisen pieniä kohteita ja siksi katseen suuntaamisen kannalta on helpompaa toimia leveämpien tiemerikintojen ohjaamina.

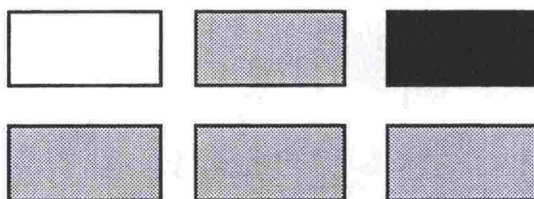
2,5 kulmaminuuttia suuremmille kohteille tilanne on päinvastainen. Tavallisesti tieliikenteessä ajaja joutuu katsomaan yli 2,5 kulmaminuuttia suurempia asioita ja näissä tapauksissa näkökynnys on riippuvainen enemmän kontrastista kuin koosta.

Ensinnä näkemiseen tarvitaan aikaa yksilöllisten tarpeiden mukaan. Toiseksi ihmisen näkö on hidas. Hitaudella tarkoitetaan silmän kykyä erotella nopeita tapahtumia pysäytyskuvina. Näkemiseen tarvittava aika pienenee taustaluminanssin kasvaessa, jos kontrasti ja koko pysyvät muuttumattomina. Aika pitenee, jos etualalla oleva valo on voimakasta vaikka kontrastiolosuhteet olisivatkin ihanteelliset. Esimerkkinä on märkä tienpinta ja siihen hejastuva opaste tai liikennemerkki. Siinä on häikäisy lähellä.

Luminanssi

Kun puhutaan näkyvyydestä, muodostuu tärkeimmäksi asiaksi luminanssi - kynttilän valaisema metrin päässä oleva pallon muotoinen sisäpinta - ei valaistusvoimakkuus. Tarkastellaan seuraavaa kuvaa, jonka kolme yläosassa olevaa neliötä ovat tässä valkoinen, harmaa ja musta. Jos niitä katsellaan normaalissa lukuvalaistuksessa toimisto-olosuhteissa, niiden valaistusvoimakkuus on noin 1.000 lx. Neliöiden heijastussuhde on erilainen. Neliöt näyttävät valkoiselta, harmaalta ja mustalta, kun oletetaan, että ympäristö on harmaa ja silmä on tottunut vallitsevaan ympäristöön.

Muutetaanpa ympäristöä jokaisen neliön kohdalla. Valaistusolosuhteet ovat erilaiset niin, että luminanssi on kunkin kohdalla sama. Oletetaan vielä edellisen lisäksi, että silmä on edelleen harmaassa ympäristössä, niin jokainen neliö näyttää harmaalta. Asiaa havainnollistaa kuvan alarivi. Tästä ilmenee, että valaistuksen voimakkuuden tasoa säätämällä neliöt näyttävätkin samanlaisilta, vaikka ympäristö vaihtui.



Ilmiö saattaa tuntua hämmäntävältä ja sitä se onkin. Luminanssi sekoitetaan hyvin usein käsitteeseen kirkkaus ja siksi näkökokeiden järjestelyissä suurin osa valmisteluajasta menee - tai pitäisi mennä - koehenkilöiden valmentamiseen, jotta kirkkaus ja luminanssi erotettaisiin ja se osattaisiin kuvata kielellisesti oikein. Luminanssi on näkemiseen vaikuttava ärsyke, kun kirkkaus on reaktio. Syyn ja seurauksen erottaminen on yksi maailman vaikeimmista asioista; niin se on tässäkin. Kirkkaus on laadullinen ja subjektiivinen käsite, joka ilmaisee aistimuksen. Puhtaan valkoinen hanki joskus maaliskuussa, esim. Las Vegas yöllä ja elokuvateatterin valkokangas ovat kohteita, jotka koetaan kirkkaina. Kirkkaus on kuitenkin varsin suhteellista. Talven kirkkaiden kuutamoiden loiste lumisessa maisemassa nähdään heti ja koetaan kirkkaaksi, mutta kuinka usein kuu on havaittu päivällä sen kirkkauden takia? Edellisen takia kirkkaus ei sovellu näkyvyyden arvosteluun, mutta luminanssi sopii. Tosi hankalaksi asian tekee se, että luminanssia ei pysty mittaamaan silmällä, koska silmä näkee tai oikeastaan: ihminen kokee luminanssista johtuvan seurauksen. Asioita mutkistaa vielä tarkastelija itse: hänen sisäinen hajonta, joka johtuu iästä ja mahdollisista silmäsairauksista sekä mielentilasta arvostelun hetkellä. Kirkkaus on täysin makuasia.

Värioppi

Isaac Newton loi pohjan nykyiselle väriopille väittäen, että värien tunnistamisen johtuu eri aallonpituuksien aiheuttamasta näön eri aistimuksista. Hän päätteli, että esineet näytävät eri värisiltä, koska valo heijastuu tai läpäisee esineen valikoivasti. Tämän lisäksi Newton väitti, että sekoitetun värin komponentteja ei silmä voi erottaa ja että värit saattoivat näyttää samoilta, vaikka niiden spektrikoostumus onkin toisistaan poikkeava. Hän pystyi osittamaan monen väitteensä ja tuli lopputulokseen, että päävärejä on seitsemän: punainen, oranssi, keltainen, vihreä, sininen, indigo ja violetti.

Wunsch tarkensi Newtonin teoriaa 1792 ja osoitti, että päävärejä onkin vain neljä. Tästä alkoi kolmiväriteoria. 1801 Young julkaisi kirjoituksen "On the Theory of Light and Colours". Tästä ensimmäisestä vakavasta yrityksestä alkoi värinäkemisen selittäminen, joka jatkuu vielä tänä päivänäkin.

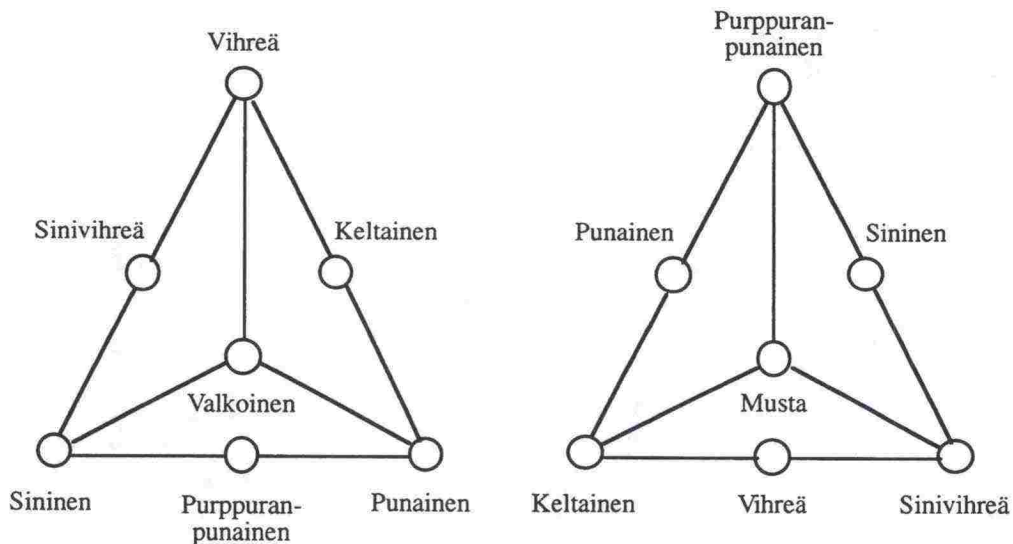
1800-luku oli väriopin kannalta erittäin vilkas. Merkittäviä rajapyykkejä olivat 1807, 1854, 1856 ja 1878. Viimeksi mainittuna vuonna syntyi väriteoria, joka on vielä tänäänkin voimassa. Se on Heringin vastaväriteoria. E. Hering oli psykologi, jonka teoria perustuu pääasiassa aistimukseen. Teorian mukaan perusvärejä on kuusi: punainen, keltainen, vihreä, sininen, valkoinen ja musta. Nämä toimivat kolmena parina eivätkä erillisinä. Sininen ja keltainen muodostavat vastaväriparin niin, että mikään väri ei samanaikaisesti voi näyttää sekä sinivihreältä että kellertävältä. Tämä tarkoittaa, että sininen vähentää keltaista ja päinvastoin. Punainen ja vihreä sekä musta ja valkoinen ovat samanlaisia pareja. Teoria ei kuitenkaan ole aukoton. Se ei pysty selittämään mm. värisokeuteen liittyviä asioita ja harmaan kohteen valoisuuden ja vaaleuden eroa.

Värin mittaaminen on tieteenala, joka järjestelmällisesti tutkii ja mittaa värejä. Värinmittaus perustaa työnsä värinsekoitukseen ja -määrittämiseen.

Mikä tahansa väri saadaan aikaiseksi sekoittamalla oikeassa suhteessa kolmea toisistaan kaukana olevaa väriä sillä edellytyksellä, että mitään niistä ei saada kahden muun yhdistelmällä. Joskus kolmatta komponenttiväriä joudutaan lisäämään ja joskus vähentämään. Näin käy spektrivärien yhdistämisessä. Komponenttivärejä kutsutaan perusväreiksi. Värillisten valojen sekoittamisen yhteydessä puhutaan yhdistävästä ja väriaineiden yhteydessä erottavasta värinsekoituksesta. Tavallisimmin perusväreinä ovat punainen, vihreä ja sininen (RGB). Kun kaikki kolme pääväriä sekoitetaan yhteen, saadaan valkoinen.

Kun edellä käsiteltiin valon värien sekoittamista yhdistämällä, nyt käsitellään väriaineiden sekoittamista ja joudutaan päinvastaiseen maailmaan: värien erottamiseen.

Erottavassa värinsekoituksessa väriaineiden päävärit ovat yhdistävässä värinsekoituksessa käytettyjen päävärien komplementtivärit. Kun päävärien väriaineet sekoitetaan yhteen, saadaan musta. Erottavaa värinsekoitusta käytetään mm. valokuvissa, kirjapainon väritöissä ja maalien valmistuksessa.



Vasemmalla yhdistävä ja oikealla erottava värinsekoitus.

Kuvasta voidaan nähdä kuinka paljon valon ja väriaineiden värinsekoitus poikkeaa periaatteiltaan toisistaan. Myöhemmin tullaan huomaamaan, että tästä muodostuu mm. tiemerikintojen kohdalla ongelma.

Värin mittaukseen käytetään tavallisimmin kahta laitetta: spektrofotometriä ja värimittaria. Värimittarin avulla määritellään visuaalisesti tutkittava väri kolmen valon värin sekoituksena, kun jokaista värin intensiteettiä säädetään erikseen. Se mittaa jokaisen päävärin kokonaissäteilyä. Värimittari ei mittaa lähteen spektriä, jonka spektrofotometri tekee.

Kolmiväriteoria sisältää kahdeksan pääsääntöä:

1. Väri on riippumaton luminanssista laajalla alueella.
2. Värien yhdistelmän luminanssi on yksittäisten värien luminanssien summa.

3. Mikä tahansa väri saadaan yhdistelmänä kolmesta eri värisestä valosta edellyttäen, että mitään käytettävistä väristä ei saada kahta muuta yhdistämällä.
4. Silmä ei pysty erottamaan värin eri komponentteja.
5. Värien yhdistäminen voidaan esittää yhtälönä:

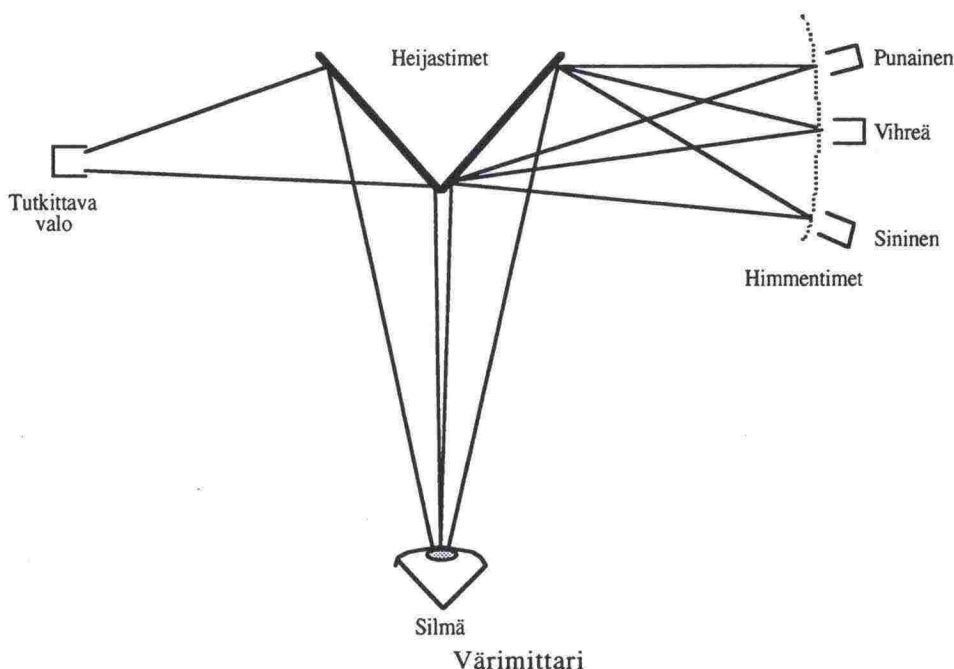
$$C = R(R) + G(G) + B(B)$$

Siinä R yksikköä punaista (R), G yksikköä vihreää (G) ja B yksikköä sinistä (B) yhteenlaskettuna muodostavat värin C. R, G ja B ovat värikomponentteja.

6. Värien yhdistäminen noudattaa yhteenlaskulakeja. Jos värit C_1 ja C_2 sekä C_3 ja C_4 sopivat yhteen, sopivat myös $C_1 + C_2$ ja $C_3 + C_4$ yhteen.
7. Värien yhdistäminen noudattaa vähennyslaskulakeja.
8. Värien yhdistäminen noudattaa siirtymälakia. Jos värit C_1 ja C_2 sekä C_3 ja C_4 sopivat yhteen, sopivat myös C_1 ja C_3 yhteen.

Mm. tiemerikintöjen värien arvostuksessa käytetään CIE:n värikarttaa. Seuraavaksi selvitetään mihin se perustuu.

1920-luvulla tehtiin värivertailukokeita, joiden perusteella määriteltiin vakiohavainnoitsijan väriominaisuudet. Kokeissa käytettiin seuraavan kuvan mukaista värimittaria, jossa näkökenttä on jaettu kahteen 2 ... 3 asteen suuruisen osaan. Tutkittava väri heijastetaan vasemmanpuoleiseen osaan ja kolmen perusvärin yhdistelmä oikeanpuoleiseen osaan. Perusvärin voimakkuutta säädetään himmentimien avulla.



Menetelmä on sama, kuin määritellään silmän spekriherkkyttä.

Vasemmanpuoleiseen kenttään heijastetaan monokromaattista säteilyä, jonka voimakkuus on vakio. Oikeanpuoleiseen heijastetaan kolmea erilaista monokromaattista säteilyä, joiden voimakkuutta säädetään suotimilla. Käytetyt

säteilyt ovat punainen (700 nm), vihreä (546,1 nm) ja sininen (435,8 nm). Nämä CIE valitsi perusväreiksi vuonna 1931 ja jotka ovat voimassa vielä tänäkin päivänä.

Kokeissa käytettiin 17 koehenkilöä ja heidän antamiensa tulosten mukaan laskettiin havaintosarjan keskiarvo. Jokaisen värin kohdalla koehenkilöt säätivät perusvärejä, kunnes kummankin puolen väri ja luminanssi näyttivät samanlaisilta. Sen jälkeen mitattiin värin ja perusvärin säteilytehot.

CIE:n 1931 omaksuma värijärjestelmä käyttää ei-fysikaalisia perusvärejä, joiden tunnuksat ovat X, Y ja Z. Ne on johdettu lineaarisella muunnoksella RGB-perusväreistä ja seuraavia ehtoja on noudatettu:

1. Perusvärit on valittu siten, että kaikkien todellisten värien kolmiväriarvot ovat positiivisia.
2. Luminanssilaskelmien tulisi sisältää vain yksi kolmivärikomponentti.
3. Järjestelmä on valittu siten, että yksi yksikkö jokaista perusväriä tuottaa yhden yksikön tasaenergistä valoista valoa.
4. Kaksi perusväriä, X ja Y, on valittu siten, että niitä yhdistävä suora on spektriuran tangenti 770 nm:n kohdalla. Tämä tekee kolmannen perusvärin, Z, merkityksettömäksi laajalla alueella spektrin punaisessa päässä ja se yksinkertaistaa laskelmia.

Koska CIE:n värikartta perustuu sekoitettuun valoon ja kun tiedetään, että valon ja värien sekoitus tapahtuu päinvastaisesti, on CIE:n värikartan mukaisten värien tuottaminen väriaineiden avulla miltei mahdoton tehtävä ja siksi väristandardikappaleet maksavat huimia summia. Tämän takia tiemerikintämateriaaleissa ei päästä edes valmistuserittäin täsmälliseen väriin. Valmistusprosessi itsessään, väriaineet ja värimittarit aiheuttavat luonnollista vaihtelua.

Kun kahta väriainetta sekoitetaan keskenään, ei lopputulosta pysty ennustamaan samalla tarkkuudella kuin valon sekoittamisessa. Jos keltaista ja sinistä valoa sekoitetaan, saadaan valkoista valoa, mutta väriaineita sekoitettaessa saadaan vihreää. Erottavan väri-sekoituksen periaatteena on saada mahdollisimman monta erilaista väriä. Kun nämä aineet sekoitetaan sopivassa suhteessa, saadaan musta. Tällaisiksi väreiksi sopivat syaani (sinivihreä), magenta (purppuran punainen) ja keltainen. Tällä periaatteella voidaan erotella vähintään 10 miljoonaa erilaista väriä.

Yhden ongelma-alueen muodostaa värin arvostaminen. Väriarvojen mittausta tulee suorittaa mittarilla. Jos arvostaminen tapahtuu silmämääräisesti, tulokseen vaikuttaa vallitsevat valaistusolosuhteet. Värin mittausta käsitellään enemmän kohdassa *Valaisuolosuhteet*.

Lähdeluettelo:**Kirjallisuusluettelo:**

Teoksen nimi	Julkaisu	Julk. nro / aika	Kirjoittaja
A Guide to Dow Corning Silane Coupling Agents		1990	
A Model for the Specular Reflection of Road Surfaces	Notat 2 / Lys & Optik	1990	Kai Sørensen, S-O- Lundkvist
A study of different types of road markings as related to retro-reflectivity and wear	VTI	517A / 1989	S-O Lundkvist
Administrativa föreskrifter för utförande av vägmarkering	Vägverket	1992-01-15	
Ajokäyttäytyminen ja päällysteen urautuminen - Loppuraportti	HYO - Liikennetutkimusyksikkö	1985 / 5	Jukka Vierimaa, Heikki Summala
Ajoneuvokohtainen valaistus	Näe ja Näy - Näkeminen ja liikenne symposium 17-18.10.1988, Helsinki	1988	Tapani Timonen
Alkaline Materials Flux From Unpaved Roads: Source Strength, Chemistry and Potential for Acid Rain Neutralization	Water, Air and Soil Pollution - D. Reidel Publishing Company	30 / 1986	Donald F. Gatz, William R. Barnard, Gary J. Stensland
Anordning som känner av och larmar vid passage av väglinjer	VTI	643 / 1990	S-O Lundkvist
Application of Markov Decision Process to Level-of-Service-Based Maintenance System	TRR	1304 / 1991	Siva Gopal, Kamran Majidzadeh
Arvonvähennysperusteet (Luonnos 08-03-93)	Tiel / Uudenmaan piiri		
Automobile Light Sources D1-35W	Philips		
Benefit-Cost Analysis of Lane Marking	TRB	12-13.01.1992	Ted Miller
Breda körfält på motortrafikled - Trafikanteffekter vid alternativ vägbanemålning på motortrafikled	VTI	687 / 1992	Arne Carlsson, S-O Lundkvist
Bullerremisor	VTI	213 / 1981	Hans-Erik Pettersson
Bättre flyt i körfält?	Teknikens värld	17 / 91	
CEN/TC 266/WG 2 EN-Standardien valmistelu	Tiel / Tiemerikintöjen taustaryhmä	22.04.1993	Toim. Osmo Anttila
Characteristics of Alkaline Emissions, Atmospheric Aerosols and Deposition	Finnish Acidification Research Project of the Environment - Springer Verlag, Berlin Heidelberg	1990	Pia Anttila
Characteristics of Construction-Zone Accidents	TRR	1230 / 1989	J. W. Hall, V.M. Lorenz
Color and Shape Recognition of Reflectorized Targets Under Automobile Low-Beam Illumination at Night	TRR	1327 / 1991	Helmut T. Zwahlen, Jing Yu
Color Appearance of Traffic Control Devices Under Different Illuminants	TRR	1247 / 1989	Belinda L. Collins
Conspiquity of Suprathreshold Reflective Targets in a Driver's Peripheral Visual Field at Night	TRR	1213 / 1989	Helmut T. Zwahlen

Control of Validity and Reability of Stray-Light Luminance Measurements in Windscreens	VTInotat	TF 55-10A	S-O Lundkvist, Uno Ytterbom, Gabriel Helmers
Den breda vägen bättrar laglydnad	Vi bilägare	18 / 91	Arne A. Jansson
Der Dunkelheitsunfall		1984	Bernt Gramberg-Danielsen, Erwin Hartmann, Heinz Giehning
Detection distances to obstacles on the road seen through windscreens in different states of wear	VTI	339A / 1988	Gabriel Helmers, S-O Lundkvist
Die Markierung von Strassen, unverzichtbar für die Verkehrssicherheit!	ZVS	1 / 4 1992	Hans Dieter Schönborn
Driver Information Requirements	TØI Institute of Transport Economics	0061, Jul 1990	Guro Berge, Kari Midtland, Vassilis Kolias, Dimitri Papadopoulos
Drivers' Requirements for Reception of Information	TØI Institute of Transport Economics	0060, Jul 1990	Guro Berge, Kari Midtland, Vassilis Kolias, Dimitri Papadopoulos
Effect of Luminaire Arrangement on Object Viasibility	TRR	1247 / 1989	Merle E. Keck
Effects of Headlamp Aim and Aiming Variability on Visual Performance in Night Driving	TRR	1247 / 1989	Vivek D. Bhise, Calvin C. Matle
Effects of Light Sources on Highway Sign Color Recognition	TRR	1213 / 1989	Syed F. Hussain, John B. Arens, Peter S. Parsonson
Effects of Light Sources on Highway Sign Color Recognition	TRR	1213 / 1989	Syed F. Hussain, John B. Arens, Peter S. Parsonson
Effects of Missaimed Low Beams and High Beams on Visual Detection of Retroreflectorized Targets at Night	TRR	1247 / 1989	Helmut T. Zwahlen, Micheael E. Miller, Jing Yu
Effekt av heldragen kantlinje på tre vägtyper	VTI	673 / 1992	S-O Lundkvist, Uno Ytterbom, Lennart Runersjö, Berit Nilsson
Effekter och nytta av vägmarkering	VUC	1992-10-16	Göran Nilsson
Embedment & Retroreflectivity of Drop-On Glass Spheres in Thermoplastic Markings	TRR	1230 / 1989	Jim O'Brien
Evaluation of Pavement Marking Materials	NASHTO - Regional Testing Program	Sep 1991	
Evaluation of Snowplowable Markers	FHWA-TS-82-222	1982 Oct	J. G. Pigman, K. R. Agent
Final Report of "VEDILIS" EU 273		Sep 8, 1992	
Förslag till standardmetod för utvärdering av vägmarkeringars specifika luminans	VTI	556 / 1988	S-O Lundkvist
Havaitseminen liikenteessä	Liikenneturvallisuuden tutkijaseminaari	1982 / 7	Sauli Häkkinen

Heldragen kantlinje på 9 m bred tvåfältsväg	VTInotat	TF 55-14, 1989-12-12	S-O Lundkvist, Uno Ytterbom, Magnus Fernlund, Berit Nilsson
Heldragen kantlinje på motortrafikled	VTImeddelande	635 / 1990	S-O Lundkvist, Uno Ytterbom, Lennart Runersjö
Heldragen kantlinje på motortrafikled	VTI	644 / 1990	S-O Lundkvist, Gabriel Helmers, Uno Ytterbom, Lennart Runersjö, Berit Nilsson, Ib Lauridsen
Henkilöstön kehittäminen	H:gin YO	1992	
Hinweise für die Anwendung von Fahrbahnmarkierungen mit erhöhter Nachsichtbarkeit bei Nässe	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen	1990	
Hur påverkas bygg- och anläggningsmaskinerna av EG	PTL	63 / Rap. 18 '92	
Ikääntyvät liikenteessä 1989 - 1991	Liikenneturva	1992	
Impact of Soil-Derived Aerosols on Percipitation Acidity, in India	Atmospheric Environment Vol 23 - 1989 Pergamon Press plc	No 12 / 1989	G. S. Varma
In-serve Evaluation of Thermoplastic & Tape Pavement Markings Using a Portable Retroreflectometer	TRR	1230 / 1989	Robert W. Attaway
ISO9000	Laatujohtaminen & -tekniikat	1993	Lloyd's
Isot helmet tiemerkintäsiroteina	Tie,- geo- ja liikennetekniikan laboratorio	127 / 1992	
Kiinteällä liikennevalaistuksella saavutettavat näköolosuhteet	Näe ja Näy - Näkeminen ja liikenne symposium 17-18.10.1988, Helsinki	1988	Veikko Ahponen
Kolmiulotteinen näkeminen	Liikenneturvallisuuden tutkijaseminaari	1982 / 7	Tapani Mäkinen
Laadun koulukunnat	Laatujohtaminen & -tekniikat	1993	Matti Ruokonen
Laatujärjestelmät	Laatujohtaminen & -tekniikat	1993	Kai Laamanen
Laatukustannukset	Laatujohtaminen & -tekniikat	1993	Raimo Ketolainen
Laboratory Requirementss - Physical properties	CEN	13 Aug 1992	Road Safety Markings Assosiation
Laki kemikaalilain muuttamisesta		1992	
Large Glass Beads for Pavement Markings	TRR	1230 / 1989	James Kalchbrenner
Liikennemerkkien havaittavuus ja ymmärrettävyys	Liikenneturvallisuuden tutkijaseminaari	1982 / 7	Juha Luoma
Liikennemerkkien havaittavuus näkökentän ääreisosissa	Liikenneturva	55/1982	Raimo Karttunen, Sauli Häkkinen
Liikenteen näkemiselle asettamia vaatimuksia	Suomen optikoiden amm.liiton koul.päivät, J:kylä 9-10.4.1988	9-10.04.1988	Markku Lankinen
Lisää liikennemerkkejä?		21.08.1992	Olli Hintikka

LTL-800 Function Test	VTI-Notat	TF 55-07 1987-05-11	S-O Lundkvist
Luotettavuustekniikat	Laatujohtaminen & -tekniikat	1993	Seppo Virtanen
Lystekniske og visuelle forhold på veje uden fast belysning - Problemformulering og projektforslag	Mörkertrafik	1980 / 3	
Making the Change to Maintenance Management Systems and Optimizing the Results	TRR	1304 / 1991	T. G. B. Armitage
Markings applied on the road	CEN	6. Draft May 1992	
Massamerikintäurakka 1993 (Luonnos 08-03-93)	Tiel	1993	
Material rekommendation - Ruotsi	Vägverket	1989-08-25	L-E Svensson
Measurements on road markings for wet conditions at Hillerød	CEN	1992 April	Kai Sørensen
Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester	ASTM E 303	Sep 1978	
Mennesket i vegmaskinen II	PTL	63 / Rap. 4 '92	
Modeling Vision with Headlights in a Systems Context	Society of Automotive Engineers, International Automotive Engineering Congress and Exposition, Cobo Hall, Detroit	Feb 28 - Mar 4, 1977	Vivek D. Bhise, Eugene Farber, Carol S. Saundby, George M Troell, James B. Walunas, Arthur Bernstein
Mätmetoder för vägranstolpars reflektionsförmåga och synbarhet	VTI	294 / 1986	S-O Lundkvist, Berit Nilsson
Need to Stripe No-Passing Zones During Resurficing of Lower-Volume Rural Roads	TRR	1304 / 1991	Mark R. Virkler, David L. Guell
Nordisk utredning om trafikksilt	NKV	1991 Maj	
Näe ja näy	SLT	1988	Useampia
Näköprosessit liikenteessä	Liikenneturvallisuuden tutkijaseminaari	1982 / 7	Valde Mikkonen
Ohio tests larger glass striping beads	Better Roads	Apr 1990	Donald C. DePaulo
Pavement Marking	Eurolab pm-team in close co-operation with HCP-lab St. Paul	1992	3M
Pavement Marking Test and Evaluation Procedures - Final Report	FHWA-TS-89-006	Mar 1989	
Pavement Markings: Materials and Application for Extended Service Life	TRB	138 / 1988	
PCDETECT: A revised Version of the DETECT Seeing Distance Model	TRR	1213 / 1989	Eugene Farber, Calvin Matle
Pedestrian Retroreflectors - Functional and technical requirements	Mörkertrafik	1982 / 5	
Perception of Highway Traffic Signs - A Critical Review	University of Helsinki	1975 ?	R. Näätänen, H. Summala
Philips Automobile Light Source D1-35W	Philips	4/91	
Philips introduces "Micro Power Light"	Philips	1992/9923E Sep	
Pienurakan yleiset sopimusehdot 1992	Tiel	1992	

Piggdekk og vintervedlikeholdsstrategi	NF Utvalg 41	Rap. 6 / 1992	
Pimeän ajan onnettomuuksien torjunta tienpidon keinoin	Liikenneturvallisuuden tutkijaseminaari	1982 / 7	Kirill Härkänen
Predicting Target Detection Distance with Headlights	Environmental & Safety Research Office Ford Motor Company	Jan 1976	Vivek D. Bhise, Paul B. McMahan, Eugene Farber
Premix Glass Beads	CEN		
Psychology on the road - The human factor in traffic safety		1978	David Shinar
Reflection properties of road markings in vehicle headlight illumination	VTI	198A / 1980	Kai Sørensen
Regional Vegmerkingskonferanse	Statens vegvesen Møre og Romsdal, Norge	13-15 mars 1991	
Renault tutkii ajokäyttätymistä	Tietotekniikka/26	10.9.1992	
Report of the Results of the Research Programme of the International Road Federation	IRF	Jan 1992	M. Bry, P. Mehmél, R. Seliger
Research on Raised Pavement Markers	TRR	1230 / 1989	John T. Tielking, James S. Noel
Retroreflectivity - Wet and Dry	Potters Industries, Inc.		Robert Dejaiffe
Road marking materials - Part-1 Road trials	CEN	1992 Jul	Kai Sørensen
Road marking performance for road users (FI & EN)	CEN		
Roadway Delineation Practices Handbook	FHWA-IP-81-5	Sep 1981	I. J. Fullerton
Rumble Strips - Geometrisk utformning och beteendeeffekter	VTI	80 / 1976	Hans-Erik Pettersson
Sehen und Verkehr		1967	Bernt Gramberg-Danielsen
Sidolegesmätning på väg målad med heldragen kantlinje	VTInotat	TF 55-09, 1988-10-21	S-O Lundkvist
Siktsträcka i halvjus till hinder på torra och våta vägbanor releterade till vägbanornas reflexionsegenskaper	VTIrapport	379 / 1992	Gabriel Helmers, S-O Lundkvist
Siktsträcka till reflex vid fordonsmöte i mörkertrafik	VTI	323 / 1987	Gabriel Helmers, S-O Lundkvist
Siktsträcka till vägmarkering i fordonsbelysning	VTI	657 / 1991	Gabriel Helmers, S-O Lundkvist
Some Studies of Movement Perception, Age and Accidents	Transport and Road Research Laboratory - Department of the Environment	Supplementary Report 137UC / 1975	B. L. Hills
Some studies of movement perception, age & accidents	TRR	10 Feb 1975	B L Hills
SPC	Laatujohtaminen & -tekniikat	1993	Mika Kuusela
Specific luminance measurements of road markings and road surfaces in the field - Comparison between instruments	VTI	188A / 1980	S-O Lundkvist, Gabriel Helmers, Uno Ytterbom
Ströljusluminans i vindrutor	VTInotat	TF 55-06, 1987-03-31	S-O Lundkvist, Gabriel Helmers
Tasokkaat tiemerkinntät		1991	Tasotuote Oy
Tasolasi	Luentomateriaali		Lahden Lasitehdas

Teknisk utveckling inom vägmaskinområdet	PTL	63 / Rap. 1A '92	
Teknisk utveckling inom vägmaskinområdet	PTL	63 / Rap. 1B '92	
Teollinen koesuunnittelu	Laatujohtaminen & -tekniikat	1993	
Test of Wet Road Markings in Sweden	VTInotat	TF 55-08A, 1988-10-31	S-O Lundkvist
The Role of Alkaline Materials in Percipitation Chemistry: A Brief Review of the Issues	Water, Air and Soil Pollution - D. Reidel Publishing Company	30 / 1986	Donald F. Gatz, William R. Barnard, Gary J. Stensland
Tiemerkinnät	Tiel	1992-03-23	
Tiemerkinnät - tarve ja tapa toimia	Tie ja Liikenne	4 / 92	Juhani Leivo
Tiemerkinnöissä käytettävien lasihelmien laatuvaatimukset	Tie- ja liikennelaboratorio, Tutkimusselostus	463 / 1985	
Tiemerkintämassojen käyttökelpoisuus	Tielaitoksen selvityksiä	50 / 1992	
Tiemerkintänastat kokeilu 1991	Tiel Koul.päivät 19 - 20.02.1992, Lappeenranta	1992	Ari Liimatainen
Tiemerkintätyöt - Työselitykset ja laatuvaatimukset	Tiel	1993	
Tiemerkintöjen hyöty-kustannus analyysi	TRB	1334 / 12-16.01.1992	Ted Miller
Tiemerkintöjen näkyvyys - Paluuheijastuvuustutkimus Lapin tiepiirissä	Tiel / työversio 19.03.1993	19.03.1993	Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö
Tiemerkintöjen standardisointi	CEN (FI)	1992-05-06	Heikki Vesa
Tienvarsimainonnan vaikutus liikenneturvallisuuteen	Liikenneturvallisuuden tutkijaseminaari	1982 / 7	Reima Lehtimäki
Tienvarsimainosten vaikutukset simuloituissa liikennetilanteissa	Liikenneturvallisuuden tutkijaseminaari	1982 / 7	Juha Luoma
Tilastomatematiikan perusteet	Laatujohtaminen & -tekniikat	1993	Kyösti Huhtala
Torra vägmarkeringars specifika luminans under olika årstider	VTI	624/ 1990	S-O Lundkvist
Traffic Control for Short-Duration Maintenance Operations on Four-Lane Divided Highways	TRR	1230 / 1989	Conrad L. Dudek, Gerald L. Ullman
Trafikanterers förståelse af skiltning og kørbaneafmærkn.	Rådet for	3 / 1991	
Tutkimus ajoneuvojen sijainnista tien poikkileikkauksessa	TIEL	1978 / 742008	Heikki Summala, Antti Merisalo, Jukka Vierimaa
Työministeriön päätös käyttöturvallisuustiedotteesta		1992	
Työministeriön päätös vaaraa aiheuttavia kemikaaleja koskevien tietojen toimittamisesta		1992	
U.K. traffic control offers lessons for U.S.	Roads&Bridges	1991 Vol. 29/7 Jul	Michael F. Shalley
Undersökning av olika vägmarkeringstyper med avseende på retroreflektion och slitage	VTI	517 / 1988	S-O Lundkvist

Urapaikkaukset ja 80 km/h valtatien 3:lla	Helsingin Yliopisto / Liikennetutkimus- yksikkö	2 / 1985	Heikki Summala
Utbildning av maskinförare i Finland	PTL	63 / Rap. 8 '92	
Utforkjøringer kan begrenses	TØI	1984 Jun	Finn H. Amundsen, Thor Lie
UV light making nighttime transport safer	VTI särtryck	165 / 1991	Kåre Rumar
Valaisuteknikka	Otatieto	542 / 1992	Liisa Halonen, Jorma Lehtovaara
Variation i torra vägmärkingars specifika luminans över årstid	VTI	556 / 1988	S-O Lundkvist
Vedilis Eureka Project 273	Philips		
Vegoppmerkningsvirksomheten - Regionalisering	Vegvesen	1992-03-18	Bjørn Skaar
Verksamhets uppföljning '90 Vägmärking	Vägverket	1991-02-19	Mats Forsgren, Nils-Erik Schmidt, Roland Forsberg
Visibility of Targets	TRR	1247 / 1989	Werner Adrian
Visibility Under Transient Adaptation	TRR	1327 / 1991	Werner K. Adrian, Radosveta V. Tolpalova
Vision in Vehicles		1985	Useampi
Vision in Vehicles II		1987	Useampi
Visual Aspects of Road Engineering	ARRB	820	B. L. Cole
Vivibility Criteria and Application Techniques for Roadway Lighting	TRR	1247 / 1989	M. S. Rea
VTI:s erfarenheter rörande vägmärkingars retroreflexionsegenskaper	VTI notat	TF 55-05, 1986-03-03	S-O Lundkvist
Våta vägmärkingar - Validering av mätmetod samt funktionstest	VTI	356 / 1990	S-O Lundkvist
Vägbanereflektorer - Fältprov avseende hållfasthet och synbarhet 1980 - 81	Statens Vägverk	TU 1981:4	Håkan Wilhelmsson, Jan Eurenus
Väggantstolpars funktionella egenskaper	VTI	403 / 1984	S-O Lundkvist, Berit Nilsson
Vägmärking	Vägverket	1990-08-22	Göran Nilsson
Vägmärkingars retroreflekterande egenskaper	VTI meddelande	510 / 1986	S-O Lundkvist
Vägmärkingens framtid i Sverige	Vägverket	1992-09-18	Göran Nilsson
Vägmärkingens specifika luminansvariation med årstid	VTI	467 / 1985	S-O Lundkvist, Berit Nilsson
Vägrenarna bort, bredare körbanor	Vi bilägare	18 / 91	Arne A. Jansson
Work-Zone Traffic Control Concepts and Terminology	TRR	1230 / 1989	Russell M. Lewis
Öga och hjärna - Seendets psykologi	Aldus universitet	1966	R. L. Gregory

HAASTATTELUT:

Aduddle, Steven, L.	Metro Polymer Labs., Milwaukee, WI, USA
Ahponen, Veikko	Valosto
Ahrenkilde, Erik	Spotflex U.S.A., Inc.
Andersson, O.	NorSkilt A/S, Moss, Norja
Bredice, John	Glasbeads GmbH, Saksa
Clark, Robert	Clark Highway Services, Ltd, Durotherm, Ltd, Lake City, MI, USA
Davidson, Robert, L.	USA
Elg, Jan-Erik	VUC, Ruotsi
Endres, Gary	Michigan Department of Transportation, USA
Farber, Eugene	Ford Motor Company, Detroit, MI, USA
Fast, Peder	Ultralux Ab, Ruotsi
Forsten, Lars	Lemminkäinen Oy
Gevart, Claude	Sovitec, Belgia
Golay, M.	Plastiroute SA, Sveitsi
Guillard, Yannick	Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement, Laboratoire Régional de Strasbourg, Ranska
Halonen, Liisa	Helsingin Teknillinen Korkeakoulu
Kerschner, Emil	Degussa, Saksa
Kjemtrup, Kenneth	Road Directorate, Tanska
Kleven, Jan	Vegvesen, Norja
Kokko, Martti	Trafino Oy
Larsson, B	Cleanosol Ab, Ruotsi
Leinonen, Hannu	Silicon Graphics
Lindström, Max	Tikkurila Oy
Lukkarila, Erkki	Teknos-Winter Oy
Mastro, David	Potters-Industries Inc., USA
Mustonen, Jyri	Tielaitos
Mäki, Pekka	Mäki & Palmroos Ky
Nicolas, Gérard	Posign, Ranska
Nieminen, Juhani	Talmu Oy
Nilsson, Göran	Vägverket, Ruotsi
Rapp, Steven, M.	Michigan Department of Transportation, USA
Reihe, Mats	Tielaitos
Rennilson, Justin	Advanced Retro Technology (ARTI), Spring Valley, CA, USA
Ricksand, Anders	Ultralux, Ruotsi
Shea, Christopher, M	P. K. Contracting, Clawson, MI, USA
Sihto, Reijo	Lahden Lasitehdas
Skaar, Björn	Vegvesen, Norja
Starling, Hans	Cleanosol Ab, Ruotsi
Suhr, Göran	Cleanosol Ab, Ruotsi
Tuotekehitys	Dow Corning, USA
Tuotekehitys	Sovitec, Belgia
Unhola, Timo	VTT / Tie,- geo- ja liikennetekniikan laboratorio
VEDILIS-projekti	Hella (LTG We/Br-7833-14.09.1992)
Vierimaa, Jukka	Liikenneturva
Virolainen, Reima	Stimsonite Europe, Saksa

VIDEOT:

Cleanosol
Laserlux
Liikenteenohjaaja
Plastiroute I
Plastiroute II
VOC Utbildning

MetroMark™

Copolymer traffic paint

WARRANTY

The product contained herein is stated to meet standard specifications found in the data sheets for this product. Misuse, improper storage, mishandling negates this warranty. No other warranty is expressed or implied.

DATE: NOVEMBER 3, 1992

COLOR NAME: TRAFFIC YELLOW

P.O. NUMBER: 1260

BATCH NUMBER: YFLAM92302

NET WEIGHT: 705

GROSS WEIGHT: 745

GALLONS: 55

AGITATE BEFORE USE
KEEP OUT OF REACH OF CHILDREN
FOR PROFESSIONAL USE ONLY

RESIN SOLUTION UN1866

MAY CONTAIN STYRENE, METHYL METHACRYLATE MONOMERS, AND UNSATURATED POLYESTER RESINS IN SOLUTION

HAZARDS: FLAMMABLE LIQUID (See firefighting and handling instructions.)

HAZARDOUS POLYMERIZATION may occur at prolonged storage above 100°F.

ALLERGIC SKIN REACTIONS may occur.

EFFECTS OF OVEREXPOSURE: INHALATION - May cause drowsiness, nausea, headache, fatigue, narcosis and dizziness. Severe exposure may cause a confused state and irritation of upper respiratory tract. SKIN CONTACT - May cause sensitization, irritation, dermatitis and eczema. May be absorbed through the skin. EYE CONTACT - May cause pain, redness and irritation. INGESTION - May cause sore throat, abdominal pain and vomiting.

EMERGENCY AND FIRST AID: INHALATION - Remove from exposure. If breathing has stopped or is difficult, administer artificial respiration or oxygen as indicated. Seek medical aid. SKIN CONTACT - Remove contaminated clothing. Wash skin thoroughly with soap and water. If irritation or sensitization occurs, seek medical aid. EYE CONTACT - Flush with large amounts of water. Seek medical aid. INGESTION - Do not induce vomiting. Seek medical aid.

PROTECTIVE APPAREL: Chemical resistant gloves and garments, chemical safety glasses.

FIREFIGHTING MEDIA: SMALL FIRES - Carbon Dioxide and dry chemical. LARGE FIRES - Foam and water fog.

DRUM STORAGE AND HANDLING: Do not store in direct sunlight or at high temperatures. Store away from heat and sparks. Vapors may travel to distant ignition sources. Container should be grounded during material transfers to prevent static sparks. Keep bung up to prevent leakage. Do not drop or slide across sharp projection. Do not use pressure to empty. Empty, unclean drums may contain explosive vapors. Handle as if full.

SPILL AND LEAK INSTRUCTIONS: Remove all sources of ignition. Dike large spills to prevent entry to sewer systems and waterways. Soak up spills with inorganic absorbent and place in labeled container.

See Material Safety Data Sheet (MSDS) for specific information.

MetroPolymer Labs, Inc.

419 N. 27th Street

Milwaukee, WI 53208

(414) 933-3888